

С.В. Ващенко, Б.Н. Маймур, И.Г. Муравьева, В.И. Петренко

**РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ШИХТ
СЖАТИЮ С УЧЕТОМ ИХ СВОЙСТВ**

Аннотация. Приведена структура разработанного аналитического метода определения сопротивления шихты сжатию. Метод позволяет без проведения экспериментов по прессованию материала установить, с достаточной для практического использования точностью, функциональную связь давления прессования и коэффициента уплотнения шихты, зная ее насыпную и пикнометрическую плотности.

Ключевые слова: шихтовый материал, уплотняемость, сопротивление сжатию, аналитический метод определения.

Разработанный новый методический подход к определению уплотняемости, представленный в работе [1], позволяет прогнозировать уплотняемость шихтового материала, зная его насыпную и средне-взвешенную (арифметическую) пикнометрическую плотности. В данной работе ставится задача использовать этот подход для аналитического определения сопротивления шихты сжатию, выраженного в виде функциональной зависимости между давлением прессования P и коэффициентом уплотнения K_y .

Известен ряд аналитических выражений, представленных уравнениями логарифмического, показательного и степенного вида, которыми описывается взаимосвязь $P=f(K_y)$. Как правило, они применимы для материалов с конкретными характеристиками и в определенном диапазоне прикладываемых давлений.

Как показывают исследования, проводившиеся в разное время в Институте черной металлургии НАН Украины, связь давления прессования с уплотнением в диапазоне используемых в технологических процессах нагрузок удовлетворительно описывается степенным уравнением для широкого круга металлургических шихт:

$$P = a \cdot K_y^b, \quad (1)$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от свойств шихты, определяются путем аппроксимации экспериментальных зависимостей для конкретного прессуемого материала.

В процессе исследований, описанных в работе [1], для шихт с широким диапазоном свойств получены диаграммы прессования и построены графические зависимости $P=f(Ky)$, характеризующие сопротивление шихты сжатию. Экспериментальные зависимости были аппроксимированы функцией, согласно выражению (1).

Используя данные, полученные в ходе аппроксимации, для каждой из четырех групп материалов [1] построено графическое отображение зависимости коэффициента b от насыпной плотности шихтового материала ρ_0 (рис. 1-4), в результате аппроксимации которых были установлены аналитические зависимости коэффициента b от насыпной плотности шихт для каждой группы материалов (выражения 2-5 в табл. 1).

Структурная схема, которая демонстрирует методику определения коэффициента b с учетом свойств шихтового материала, показана на рис. 5.

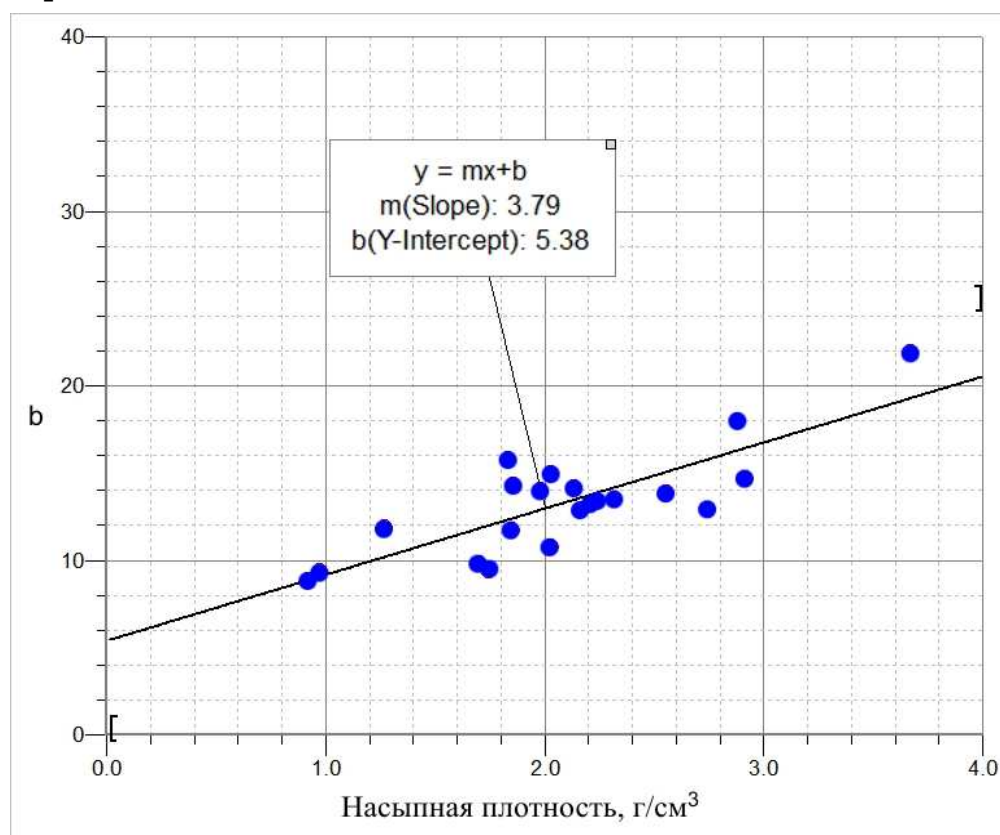


Рисунок 1 - Изменение коэффициента b в зависимости от насыпной плотности ρ_0 для первой группы шихтовых материалов

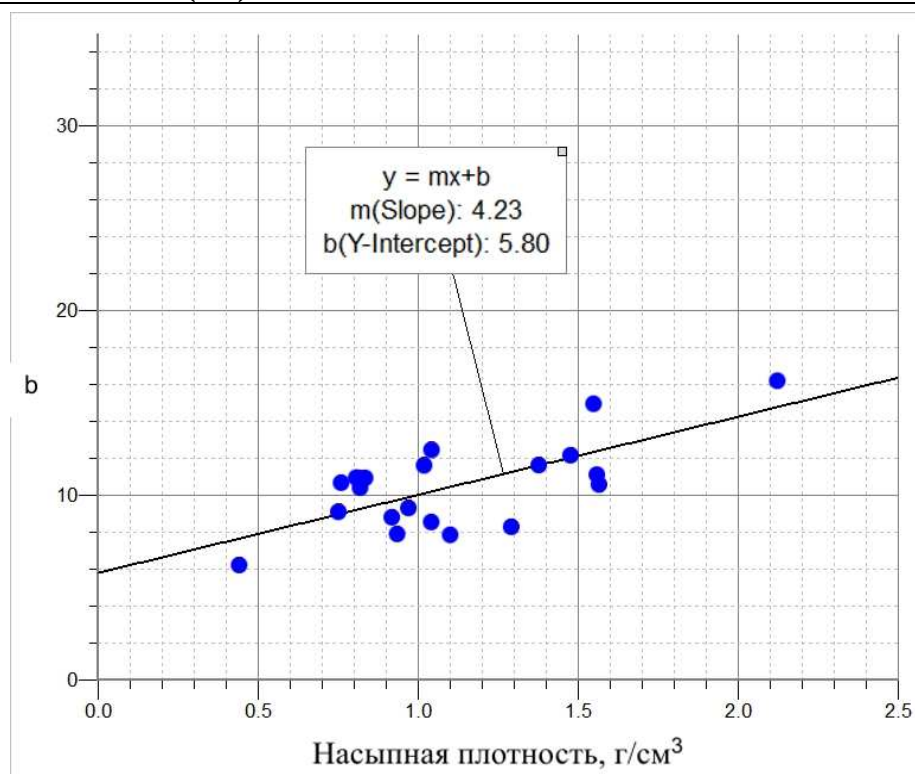


Рисунок 2 - Изменение коэффициента b в зависимости от насыпной плотности ρ_0 для второй группы шихтовых материалов

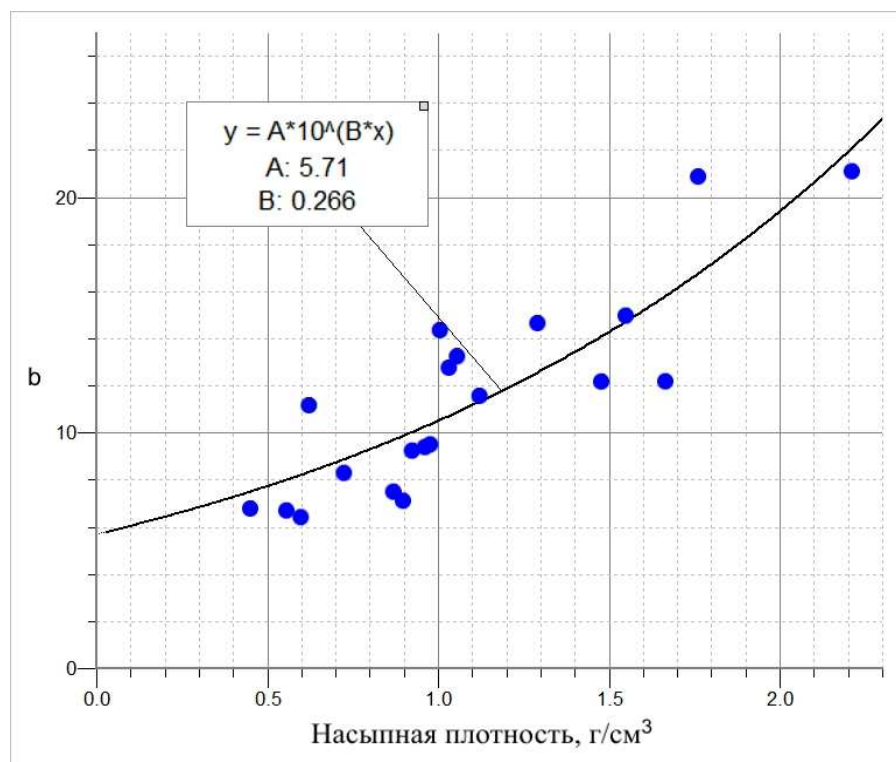


Рисунок 3 - Изменение коэффициента b в зависимости от насыпной плотности ρ_0 для третьей группы шихтовых материалов

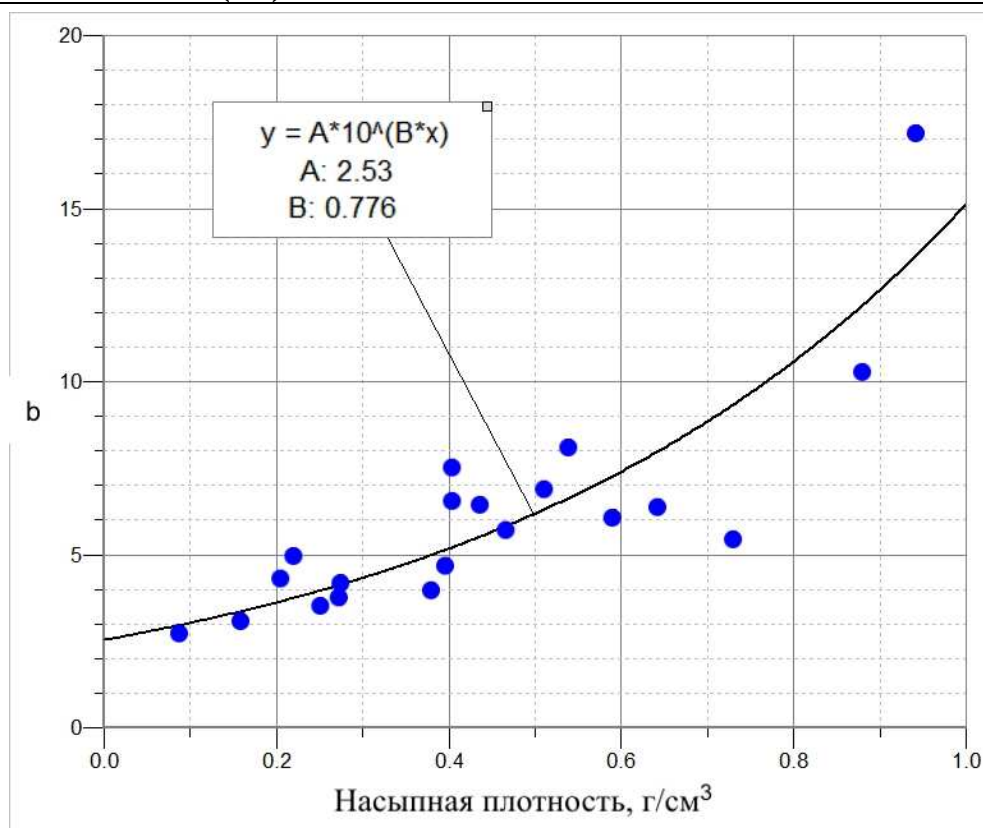
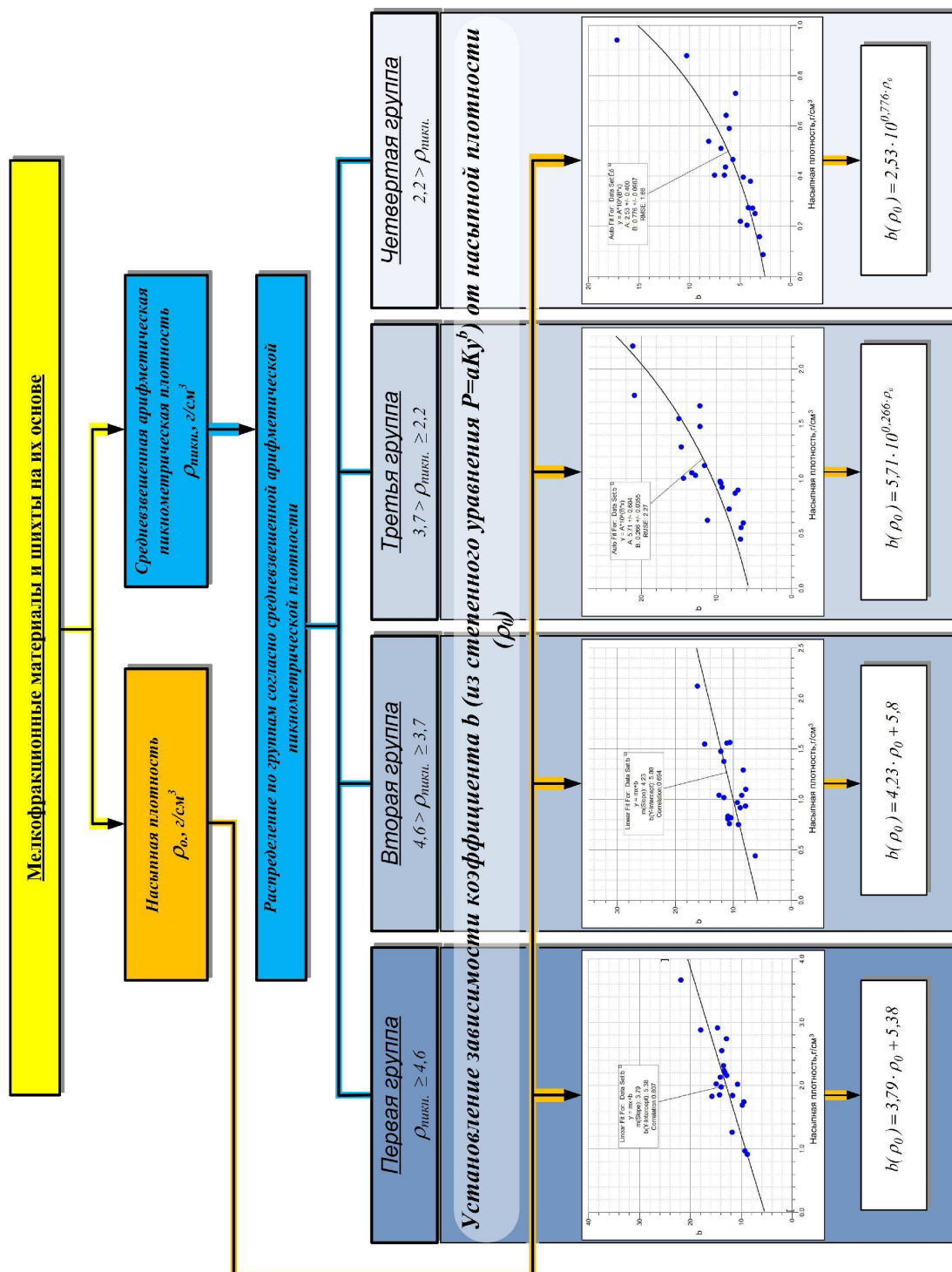


Рисунок 4 - Изменение коэффициента b в зависимости от насыпной плотности ρ_0 для четвертой группы шихтовых материалов

Таблица 1

Аналитические выражения функциональных зависимостей коэффициента b от насыпной плотности ρ_0 шихтовых материалов

Первая группа шихтовых материалов	$b(\rho_0) = 3,79 \cdot \rho_0 + 5,38$	(2)
Вторая группа шихтовых материалов	$b(\rho_0) = 4,23 \cdot \rho_0 + 5,8$	(3)
Третья группа шихтовых материалов	$b(\rho_0) = 5,71 \cdot 10^{0,266 \cdot \rho_0}$	(4)
Четвертая группа шихтовых материалов	$b(\rho_0) = 2,53 \cdot 10^{0,776 \cdot \rho_0}$	(5)

Рисунок 5 - Структурная схема методики определения коэффициента b с учетом свойств шихтового материала

Используя методический подход к определению уплотняемости [1], а также методику определения коэффициента b с учетом свойств прессуемых материалов (рис. 5), из установленных функциональных зависимостей $K_{y100} = f(\rho_0)$ и $b = f(\rho_0)$ можно для любого шихтового материала определить значения K_{y100} и b . Затем из аналитического выражения $P = a \cdot K_{y100}^b$ определяем a по формуле:

$$a = \frac{100}{K_{y100}^b}. \quad (6)$$

На основе полученных коэффициентов a и b для любого материала, может быть построена функциональная зависимость давления прессования от коэффициента уплотнения ($P(K_y) = a \cdot K_y^b$).

По результатам исследований предложен аналитический метод определения сопротивления шихтовых материалов сжатию (рис. 6), который включает:

1. определение насыпной плотности материала, расчет его средневзвешенной пикнометрической плотности;
2. распределение шихтового материала в одну из четырех групп соответственно значению его пикнометрической плотности;
3. определение коэффициента уплотнения при 100 МПа (K_{y100}), используя установленную для данной группы функциональную зависимость $K_{y100} = f(\rho_0)$;
4. определение коэффициента b , используя установленную для данной группы функциональную зависимость $b = f(\rho_0)$;
5. определение коэффициента a из аналитического выражения $a = \frac{100}{K_{y100}^b}$, используя значения K_{y100} и b ;
6. построение графической функциональной зависимости $P(K_y) = a \cdot K_y^b$, отражающей сопротивление материала сжатию, используя полученные значения коэффициентов a и b .

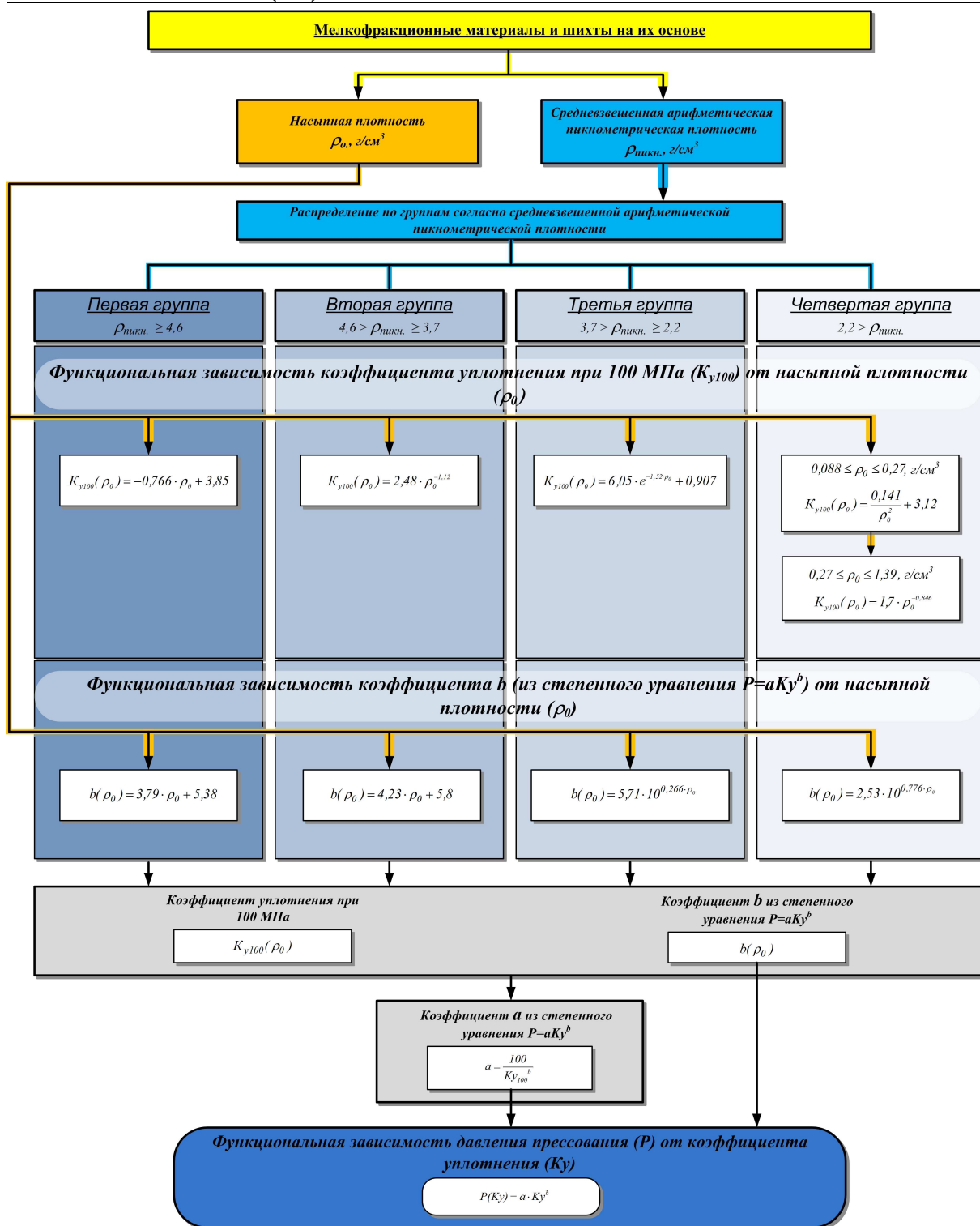


Рисунок 6 - Структурная схема аналитического метода определения сопротивления шихты сжатию с учетом свойств прессуемых шихтовых материалов

Таким образом, предлагаемый метод дает возможность, не проводя экспериментальных исследований по нагружению шихты, определив насыпную и пикнометрическую плотности шихтового материала, аналитическим путем построить графическую зависимость коэффициента уплотнения от давления прессования, знание которой необходимо при разработке технологических режимов брикетирования и выборе энергосиловых параметров прессового оборудования.

Сравнение расчетных и экспериментально полученных зависимостей $P=f(Ky)$, проведенные для ряда шихт, существенно различающихся по насыпной и пикнометрическим плотностям, показало удовлетворительное совпадение результатов. Для примера на рис. 7 приведены экспериментальная и расчетная кривые прессования коксовой мелочи (влажность – 12%). При значениях $Ky > 3$, соответствующих получению прочного брикета, экспериментальные и расчетные значения давления прессования отличаются не более чем на 10%, что приемлемо для использования разработанного метода для практических расчетов.

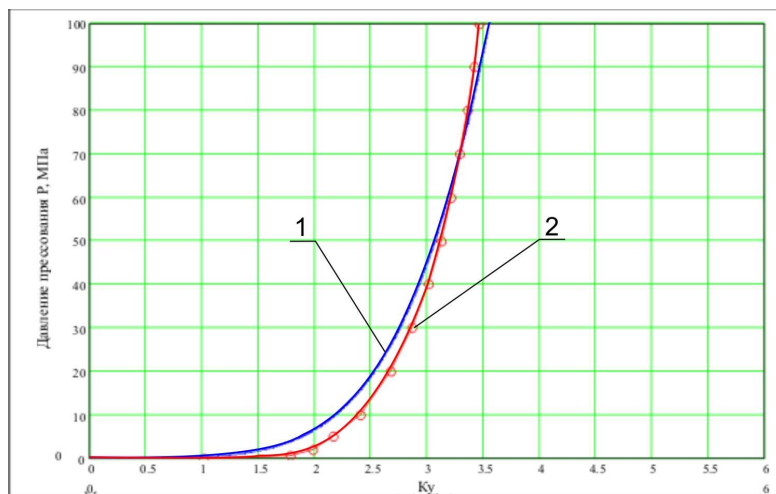


Рисунок 7 - Зависимости коэффициента уплотнения от давления прессования для коксовой мелочи (влажность - 12%),

1 – расчетная кривая прессования

2 – экспериментальная кривая прессования

ЛИТЕРАТУРА

1. Ващенко С.В. Разработка методического подхода к определению уплотняемости прессуемых шихт с учетом их свойств. / С.В. Ващенко, Б.Н. Маймур, В.И. Петренко, И.Г. Муравьева // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 14(2011). – Днепропетровск, 2011. – С. 86 - 93

О.В. Сергеева, А.А. Пивоваров, Л.А. Фролова, Т.Н. Дубовик

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ ГАЗ-ЖИДКОСТЬ**

Аннотация. Рассматривается модель процесса плазмохимической обработки жидких сред неравновесной плазмой при условии, что один из электродов (катод) находится в газовой фазе, а другой погружен в жидкость.

Ключевые слова: неравновесная плазма, заряженные частицы, ионы, радикалы, плазмохимическая обработка, жидкость.

Введение

В последнее время применение в различных технологиях процессов протекающих в системе газ – жидкость становится все более актуальной. Примером применения таких процессов являются методы извлечения металлов, основанные на действии контактной неравновесной плазмы на водные растворы [1-7], обеззараживание воды [8,9], очистка воды от ПАВ [10]. Они отличаются низкими удельными энергозатратами, возможностью полной автоматизации оборудования и высокой степенью извлечения. Для поиска путей более полного использования всех возможностей плазмохимической обработки растворов при пониженном давлении в системе неравновесная плазма – жидкость разрабатывалась представленная ниже математическая модель, учитывающая основные процессы, протекающих в системе.

Плазмохимический метод обработки растворов основан на осуществлении плазменного разряда над поверхностью жидкой фазы. Ключевую и инициирующую роль во всей цепи физико-химических процессов играют процессы с участием плазменных электронов: разогрев (ускорение) их во внешнем электрическом поле разряда, упругие и неупругие столкновения с газофазными молекулами воды, приводящие к потере энергии электронов, возбуждению внутренних (вращательных ($e-R$ процессы), колебательных ($e-V$ процессы) и электронных ($e-E$ процессы)) степеней свободы, диссоциации, ионизации, прилипанию (в том числе диссоциативному прилипанию) к молекулам

H_2O . Для получения наиболее полной информации о плазменных электронах и вышеуказанных процессах с их участием необходимо, в общем случае, решение кинетического уравнения Больцмана для функции распределения электронов по энергии (ФРЭЭ). Параметрами этого уравнения являются приведенное электрическое поле разряда E/N , концентрация электронов N_e и совокупность большого числа сечений столкновений для вышеуказанных процессов (здесь и далее E – напряженность внешнего электрического поля разряда, N – общая концентрация нейтральных частиц (молекул, атомов) газа). При малых степенях ионизации $N_e/N < 10^{-3}$ (а именно такая степень ионизации, как показали предварительные оценки, имеет место в неравновесной плазме в плазмохимическом реакторе) ФРЭЭ, как решение уравнения Больцмана, не зависит от N_e . Тем не менее, остающееся большое число параметров (сечений разнообразных процессов столкновений электронов с нейтральными частицами) делает решение кинетического уравнения Больцмана трудоемкой дополнительной задачей моделирования. Однако, для плазменного разряда с малыми, не влияющими на ФРЭЭ примесями, ситуация существенно упрощается, так как в научной литературе имеется ряд данных, в основном экспериментальных. Эти данные использованы в кинетической модели. То есть, для описания характеристик электронов и констант скоростей процессов с их участием, входящих в кинетические уравнения модели, использованы полученные аналитические аппроксимации литературных данных, которые в первоисточниках представлены обычно в графическом виде как функции E/p , E/N или в ряде случаев, как функции средней энергии электронов (электронной температуры). При температуре 273 К величины E/N и E/p связаны соотношением: $E/p = 0,288 E/N$.

Кроме того, действуют дополнительные факторы, зависящие от присутствующих в растворах примесей – термическое разложение в газовом разряде (плазменный пиролиз) и ионизация водного раствора ускоренными частицами (электрорадиолиз).

Диффузия нейтральных и заряженных частиц плазмы из объема к стенкам (электродам) реакционного пространства (РП) и последующая их гибель или поглощение этими стенками (в том числе и водой, покрывающей один из электродов РП) может существенно влиять на объемную концентрацию этих частиц и определять поток час-

тиц, поступающих из газовой фазы, где они рождаются, в водный раствор, то есть определять скорость его активации. Сечение столкновения ионов с молекулами H_2O определяется поляризационным взаимодействием. Для этих случаев использовали обычную при таком взаимодействии температурную зависимость и приближенное выражение для коэффициента диффузии. Для заряженных частиц плазмы (ионов и электронов) диффузия в условиях РП является амбиполярной. В уравнении, определяющем коэффициент амбиполярной диффузии D_a , для простоты предположено, что характеристическая температура электронов равна их температуре T_e .

Первичные акты ионизации, диссоциации и диссоциативного прилипания электронов плазмы к молекулам H_2O , а также термическая диссоциация и диссоциация через высоковозбужденные колебательные уровни молекул воды в столкновениях $H_2O - H_2O$ (из-за высокой температуры газа и возбуждения колебаний молекул H_2O электронным ударом) приводят к образованию ионов, атомов и молекул, которые инициируют цепь химических ионно-молекулярных реакций, в результате которых образуется большое число новых компонент. Все эти компоненты диффундируют к стенке – электроду РП, омываемого раствором, и могут поглощаться. Таким образом, происходит процесс активации водного раствора и для кинетических подсистем воды, радикала ОН и избыточного электрона можно обоснованно считать, что основные превращения с участием первичных продуктов разложения воды определяются жидкой фазе [11-17].

Основная часть

При экспериментальных исследованиях использовались плазмохимические реакторы с водяной рубашкой охлаждения, поддерживающих температуру раствора ниже температуры кипения. Откачка газовой фазы из системы проводилась при помощи компрессора. Процесс плазмохимической обработки проводился при постоянном давлении $P = 10-20$ кПа. Один из электродов (анод) располагался в газовой фазе, другой был погружен в жидкость. Расстояние между поверхностью жидкости и верхним электродами расстояние h составляло 5–7 мм.

Процесс плазмохимической обработки жидкости зависит от многих факторов: температуры раствора, давления, диффузионных процессов на границе раздела фаз, изменение объема системы вслед-

ствие уноса части вещества, присутствующих примесей. Учесть влияние всех факторов в реальных условиях практически невозможно, поэтому неизбежны некоторые упрощения.

При составлении модели учитывалось, что процесс контактного действия на жидкость включает в себя сочетание трех эффектов. Первый из них – УФ-излучение, которое способствует образованию гидратированных электронов, обладающих высокой реакционной способностью. Второй – химические превращения на поверхности раздела фаз газ – жидкость, вызванные массопереносом заряженных частиц из зоны разряда. Третий – электрохимические процессы, протекающие в слое жидкости, для которых электрохимическая стадия, в отличие от традиционных электропроцессов, протекает в более благоприятных условиях за счет снижения диффузионных ограничений и при меньших значениях энергии активации.

Таблица 1

Основные процессы, протекающие в системе газ-жидкость при плазменнохимической обработке

Фаза	Основные процессы
Газ	Разряд
	Образование заряженных частиц
	Пиролиз
	Электрорадиолиз
	Диффузия заряженных частиц к стенкам реактора
	Массоперенос из жидкости в газ
	Ионизация
	Разогрев электронов во внешнем электрическом поле разряда,
	Столкновения с газофазными молекулами воды
	Возбуждение внутренних степеней свободы,
	Диссоциация
	Прилипание к газофазными молекулам H_2O .
	УФ-излучение
Жидкость	Диффузия заряженных частиц в раствор
	Массоперенос из газовой фазы в жидкость
	Фотолиз
	Химические превращения
	Электролиз
	Упругие и неупругие столкновения с молекулами воды
	Возбуждение внутренних степеней свободы молекул
	Диссоциация
	Прилипание (в том числе диссоциативное прилипание) к молекулам H_2O .

Модель, включающая в себя большинство указанных факторов, указанных в таблице 1., представлена в виде системы дифференциальных уравнений (1), учитывающих концентрационные изменения участников реакций (молекул, радикалов, частиц и т.п.)

В представленной модели исходными данными для расчетов служат:

- механизм процесса, заданный в виде совокупности элементарных реакций, и их кинетические параметры;
- состав реакционной смеси в начальный момент времени;
- параметры процесса обработки.

Так как процесс происходит в изотермических условиях, то

$$\frac{dy_i}{dt} = F_i(y_1, y_2 \dots y_N, \tau); \quad i = 1, 2 \dots N \quad (1)$$

где N – число участников реакции, y_i – их концентрации.

$$F_i = P(\tau) \cdot a \cdot \left(\sum_{\alpha} c_{i\alpha} \cdot g_{i\alpha} \cdot y_{1\alpha} \right) + \left(\sum_{\beta} c_{i\beta} \cdot k_{\beta} \cdot y_{1\beta} \right) + \left(\sum_{\gamma} c_{i\gamma} \cdot k_{\gamma} \cdot y_{1\gamma} \cdot y_{2\gamma} \right) + \left(\sum_{\Delta} c_{i\Delta} \cdot f_{i\Delta} \right) + P(\tau) \cdot b \cdot \left(\sum_F c_F \cdot y_{1F} \cdot y_{2F} \right) \quad (2)$$

где $P(\tau)$ – количество энергии, затрачиваемое на обработку жидкости;

$P(\tau) = (U_a - U_n) \cdot \eta \cdot I_a$, где U_a – анодное напряжение, U_n – напряжение на поверхности раздела фаз газ – жидкость, найденные в результате зондовых измерений, η – коэффициент, учитывающий потери энергии, I_a – сила тока процесса; a – доля энергии, затрачиваемая на плазмохимические процессы, b – доля энергии, приходящаяся на УФ – излучение; коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, \Delta$ – указывают на плазмохимические реакции 1-го порядка, химические реакции 1-го порядка, химические реакции 2-го порядка, электрохимические и фотохимические реакции соответственно; $c_{i\alpha}, c_{i\beta}, c_{i\gamma}, c_{i\Delta}, c_{iF}$ – множители, учитывающие число взаимодействующих частиц;

$g_a = G_a / y_{1a0}$ – константа скорости для плазмохимических реакций, где y_{1a0} – начальная концентрация вещества; k – константы скоростей соответствующих реакций; y_i – текущие концентрации веществ;

$f_{i\Delta}$ – выход по закону Фарадея, $f_{i\Delta} = I_a \cdot At / (z \cdot F)$, где At – коэффициент, учитывающий влияние материала электрода, z – количество электронов, участвующих в реакции, $F = 96487$.

Выводы

Соответствие данных полученных расчетным путем для ряда модельных растворов и дистиллированной воды, подвергнутых плазмохимической обработке [18-19], с данными, полученными экспериментально, указывает на достоверность предложенного механизма химических реакций и допустимости предложенных упрощений.

На основании появившейся в результате расчетов информации, может быть реализован выбор стратегии оптимального управления процессами плазмохимической обработки, включающей как активацию водных растворов, так и получение оксидных и полиоксидных соединений металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Запольский, А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод [Текст]: Підручник /А.К. Запольский, Н.А. Мішикова-Кдименко, І.М. Астрелін, М.Т. Брик, П.І. Гвоздяк, Т.В. Князькова – К.:Лібра, 2000. –552с.
2. Черняк, В.Я. Удаление тяжелых металлов из водных растворов при обработке их плазмой несамостоятельного разряда [Текст] / В.Я Черняк, С.В. Ольшевский, Д.О. Лебедев, П.Н. Воронин, П.Н. Цыбулев // Плазмотехнология-97: сб.научн. тр.– Запорожье. – 1997 –. С.55-57.
3. Широков, Л.В. Очистка жидких радиоактивных отходов методом люминесцентного электролиза [Текст] / Л.В.Широков, И.И.Щербина, Я.В. Удод, В.М. Гулин, А.В Кравченко // Тезисы конференции «Вода – проблемы и решения».- Днепропетровск: Гамалия. –1998.–с.150–152.
4. Пивоваров, А.А. Очистка сточных вод в условиях электрохимической неравновесности [Текст] / А.А Пивоваров, Пархоменко В.Д., Кравченко А.В., Нестеренко А.Ф. // тез. докл. к зональн. научн. конф. «Прогрессивная технология и вопросы экологии в гальванике». – Пенза. –1990. – С.63-64.
5. Пивоваров, А.А. Энергосберегающая технология извлечения благородных металлов из промышленных отходов [Текст]/ А.А. Пивоваров, С.В. Сытник, Н. М. Пололий // Экология и теплотехника. –1996: Труды Международной конференции – Днепропетровск.-1996. –С.112.
6. Пивоваров, А.А. Извлечение ионов поливалентных металлов из сточных вод гальванических производств плазмохимическим методом [Текст] / А.А. Пивоваров, О.В.Сергеева // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Химия, химическая технология и экология» . Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – № 14. –С.77-84.
7. Кравченко, А.В. Применение низкотемпературного плазменного электролиза для очистки питьевых вод от тяжелых металлов [Текст]/ А.В.

- Кравченко, В.П. Пустовойтенко, А.А Пивоваров и др.// IV международная научная конференция «Современные достижения в науке и образовании»(11-18 сентября 2010): Сборник трудов конференции.– Будва, Черногория. – С. 202–205.
8. Lee, W.M. Metal / Water chemical reaction coupled pulsed electrical discharge [text]/ W.M. Lee // J. Prys. –1991. –V.69, №10. –Р. 6945– 6951.
9. Пивоваров, А.А.. Неравновесная плазма: процессы активации воды и водных растворов [Текст]: монография / А.А. Пивоваров, А.П. Тищенко//. Днепропетровск: Издательство DS-Print. 2006. – 221 с.
10. Кравченко, А.В. Эффективность использования электрических методов деструкции неионогенных ПАВ – отходов производства[Текст] / А.В. Кравченко, А.Г Рудницкий, А.Ф. Нестеренко, В.С. Кублановский // Гальванотехника и обработка поверхности. –1996. –т.4, № 3. –С. 49-54.
- 11.Двинин, С.А. Уравнение для плазмы и граничного слоя пространственного заряда с учетом столкновений ионов [Текст] / С.А. Двинин, В.А. Довженко, А.А. Кузовников // Вестник Московского университета. Сер. III, Физика, Астрономия. –1999. –Т. 40. –№5. –С. 13–15.
12. Двинин, С.А.. К теории пристеночного слоя в плазме газового разряда [Текст] / С.А. Двинин, В.А. Довженко, А.А. Кузовников// Физика плазмы. – 1999. –Т. 25. – Вып. 11. – С. 882-892.
13. Двинин, С.А.Функция распределения ионов по энергиям в положительном столбе газового разряда в чистых газах. [Текст]/ С.А. Двинин, В.А. Довженко, А.А. Кузовников // Вестник Московского университета. Сер. III, Физика, Астрономия. –2000. –Т. 41. – №1. – С. 18–21.
- 14.Пикаев, А.К. Высокотемпературный радиолиз воды и водных растворов. [Текст]/ А.К. Пикаев, С.А. Кабакчи, И.Е. Макаров //- М.: Энергоатомиздат, 1988.- 136с.
- 15.Бугаенко, Л.Т.Химия высоких энергий. [Текст] / Л.Т.Бугаенко, М.Г. Кузьмин, Л.С. Поляк// – М.: Химия, –1988. –368с.
- 16.Пикаев, А.К., Современная радиохимия. [Текст]/ А.К. Пикаев, С.А. Кабакчи //- том 2, -. М.: Энергоатомиздат, –1991. -480с.
- 17.Сокольский, А.Г. Комплексное изучение фундаментальных физико-химических свойств и процессов плазмохимической активации водных растворов [Текст] / А.Г.Сокольский, Е.В. Исханов, В.В. Кузнецов // Семинар «Получение, исследование и применение низкотемпературной плазмы» Материалы семинара. – Москва. –2002. –С.338.
- 18.Пивоваров, А.А.Кинетическая модель химических превращений в дистиллированной воде под действием контактной низкотемпературной плазмы тлеющего разряда. [Текст]/ А.А. Пивоваров, О.В. Сергеева // Вопросы химии и химической технологии. –2001. – №5. – С.74 – 78.
19. Сергеева, О.В. Пример решения прямой задачи химической кинетики с использованием средств Mathcad Professione [Текст]/ О.В. Сергеева, А.А. Пивоваров, О.В. Овчаренко// Вопросы химии и химической технологи. – 2009 – №5– С.166-170.

Г.А. Степанкова, І.В. Баклан

ПРИХОВАНІ МАРКОВСЬКІ МОДЕЛІ: КЛАСИФІКАЦІЯ

Анотація. В статті запропонований погляд на класифікацію прихованих марковських моделей та їх місце в загальній класифікації марковських моделей. Були визначені основні класифікаційні ознаки, за якими і був виконаний класифікаційний аналіз.

Ключові слова: марковські моделі, приховані марковські моделі, гібридні моделі, класифікація марковських моделей.

Вступ

Імовірнісні моделі, такі як приховані марковські моделі (ПММ) та баєсові мережі, на сьогодні є одними з найпопулярніших математичних формалізмів, які використовуються у сучасних інтелектуальних системах прийняття рішень. Тому дуже важливо мати повну класифікацію різновидів цих ймовірнісних моделей та їх застосування.

Постановка проблеми

Теорія прихованих марковських моделей не нова. Її основи опублікував Баум і його колеги в кінці 60-х, на початку 70-х років. Тоді ж, на початку 70-х років, Бейкер і Джелінек з колегами із IBM застосували ПММ в розпізнаванні мови [1, 2].

Тим не менш, широке розповсюдження ПММ отримала зовсім недавно. Основи теорії ПММ були опубліковані у журналах для математиків, які не дуже популярні серед інженерів, що займаються розпізнанням мови. Опублікована теорія не містила відповідних навчальних матеріалів, які б пояснювали можливості та способи застосування ПММ у різних прикладних галузях. Це призвело до того, що до цього часу не створена цілісна теорія ПММ та не визначене їх місце у теорії ймовірнісних моделей. Зокрема, не була створена загальна класифікація ПММ.

Аналіз досліджень і публікацій

Реальним початком ймовірнісного моделювання були роботи монаха Томаса Баєса та, особливо, його теорема про умовні ймовірно-

сті у його великій роботі «Нариси до вирішення проблеми доктрини шансів».

З імовірнісним моделюванням пов'язані імена таких видатних світових математиків, як А.А. Марков [3], А.М. Колмагоров [4] та інших.

На сьогодні існують цілі теорії імовірнісного моделювання, які використовуються для вирішення задач теорії масового обслуговування, розпізнання образів, біоінформатики тощо.

Роботи останніх років показали, що в економіці, генетиці, розпізнаванні образів знайшли місце для вирішення цих задач такі математичні апарати, як баєсові мережі та, особливо, приховані марковські мережі (ПММ).

Мета роботи

Метою даної статті є ознайомлення зі створеною нами найбільш повною класифікацією марковських моделей, та, зокрема, встановлення місця прихованих марковських моделей у загальній класифікації імовірнісних моделей.

Загальна класифікація імовірнісних моделей

У загальному вигляді класифікація імовірнісних моделей представлена на рисунку 1.

Імовірнісні моделі (стохастичні моделі) – це моделі, які на відміну від детермінованої моделі містять випадкові елементи (величини). Таким чином, при завданні на вході моделі деякої сукупності значень, на її виході можуть бути результати, які, залежно від дії випадкового фактора, розрізняються між собою.

Класифікація марковських моделей

В свою чергу, ми підрозділяємо марковські моделі на марковські ланцюжки, марковські логічні мережі та приховані марковські моделі.

Марковські ланцюжки

Якщо випадкова послідовність має марковську властивість, то вона зветься ланцюжком Маркова. Тобто марковським ланцюжком називають таку послідовність випадкових подій, в якій ймовірність кожної події залежить тільки від стану, в якому процес знаходиться в поточний момент та не залежить від більш ранніх станів. Скінчений дискретний ланцюжок визначається:

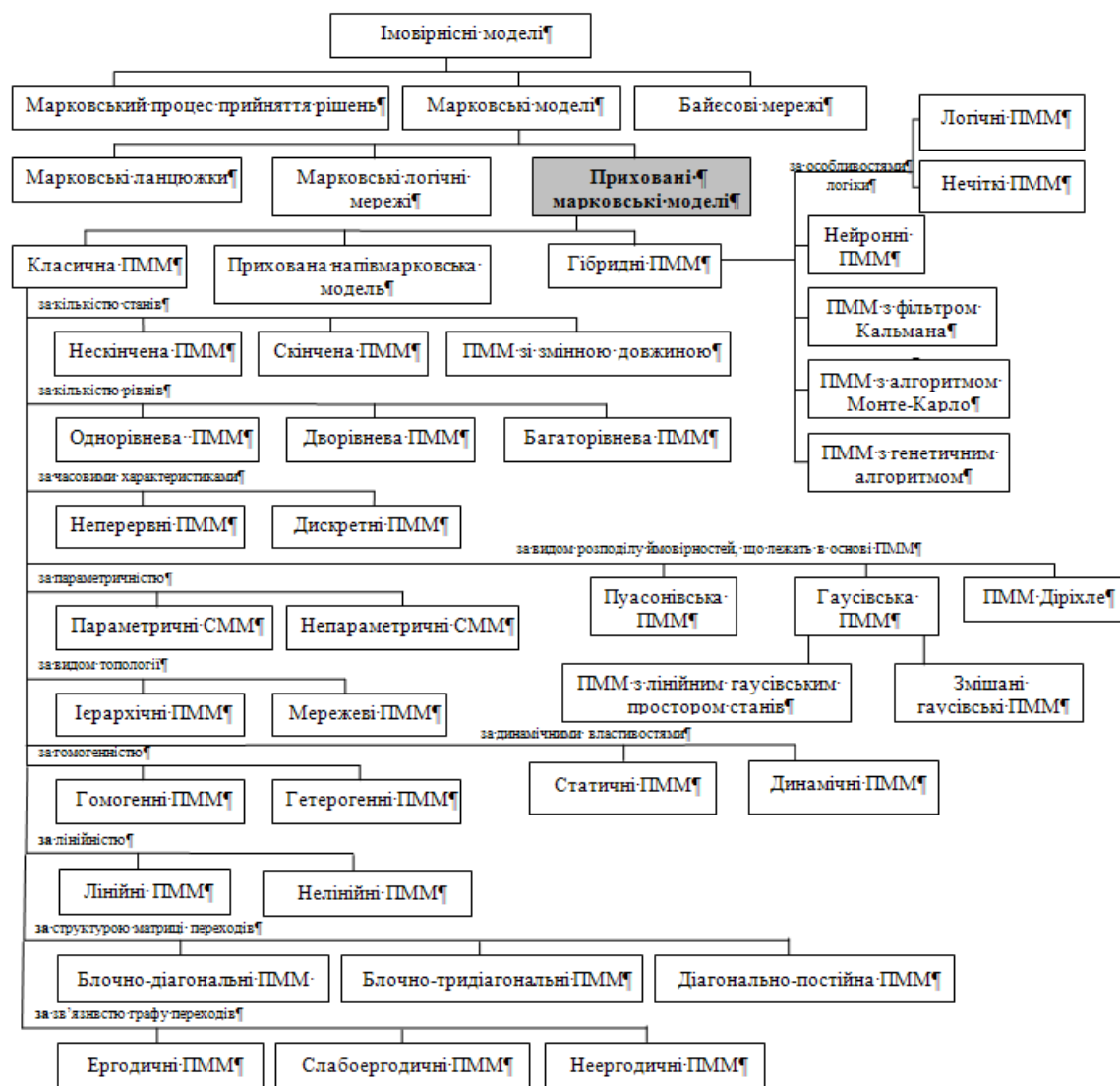


Рисунок 1 - Загальна класифікація імовірнісних моделей
марковського типу

Марковські логічні мережі

Марковська логічна мережа – це ймовірнісна логіка, яка застосовує ідею марковської мережі до логіки першого порядку [5].

Ймовірнісні графічні моделі дозволяють нам достатньо ефективно вручну представляти невизначеність. Логіка першого порядку дозволяє компактно представляти обширні та різноманітні знання. Марковська логічна мережа [5], що є досить простим методом, поєднує в собі ймовірність та логіку першого порядку без будь-яких обмежень, крім реального домену.

Класифікація прихованих марковських моделей

Тепер перейдемо безпосередньо до класифікації ПММ. У широкому сенсі ПММ можна розділити на наступні загальні класи:

- прихована напівмарковська модель;
- класична ПММ;
- гібридні марковські моделі.

Приховані напівмарковські моделі

Приховані напівмарковські моделі є узагальненням прихованих марковських моделей. Вони дають значну гнучкість часовим розподілам, які беззаперечно виконують геометричний розподіл у разі прихованих марковських ланцюжків. Прихована напівмарковська модель є узагальнення ПММ, що дозволяє використовувати більш загальний розподіл часу перебування.

Класифікація класичних прихованих марковських моделей

Тепер розглянемо класифікацію безпосередньо класичних ПММ. Класичні ПММ розділяються за наступними основними класифікаційними ознаками:

- за кількістю станів на скінчені та нескінчені ПММ;
- за кількістю рівнів на однорівневі, дворівневі та багаторівневі ПММ;
- за часовими характеристиками на неперервні та дискретні ПММ;
- за видом розподілу ймовірностей, що лежать в основі ПММ, на пуасонівські, гаусівські ПММ та ПММ Діріхле;
- за параметричністю на параметричні та непараметричні ПММ;
- за видом топології на мережеві та ієрархічні ПММ;

- за гомогенністю на гомогенні та гетерогенні ПММ;
- за лінійністю на лінійні та нелінійні ПММ;
- за динамічними властивостями на статистичні та динамічні ПММ;
- за структурою матриці переходів на блочно-діагональні, блочно-тридіагональні та діагонально-постійні ПММ;
- за зв'язністю графу переходів на ергодичні, слобоергодичні та неергодичні ПММ.

Класифікація ПММ за кількістю станів

Основним припущенням моделювання класичної ПММ є те, що дані породжуються деяким дискретним станом змінної, яка може приймати одне з кількох значень, що є необґрунтованим для більшості реальних задач. Нескінчені ПММ – це ПММ, у яких зліченне нескінченне число прихованих станів. Відповідно, скінчені ПММ – це моделі, в яких скінченне число прихованих станів. ПММ зі змінною довжиною – це ПММ, в яких в кожний момент часу різне число прихованих станів.

Класифікація ПММ за кількістю рівнів

Моделювання ПММ передбачає рознесення її елементів за відповідними ієрархічними рівнями. Ідея рівнів передбачає ієрархічну будову ПММ, домінування одних елементів над іншими та, навпаки, підпорядкування одних елементів іншим.

Елементи нижнього рівня входять як інтегранти в елементи більш високих рівнів.

Класифікація ПММ за часовими характеристиками

У неперервних ПММ фігурують неперервні змінні. Це стосується і такої незалежної змінної, як час. У дискретних ПММ змінні, в тому числі й час, дискретні, тобто для них визначена деяка множина дозволених значень, в окремому випадку їх всього два (виконавчі змінні) [6].

Класифікація ПММ за видом розподілу ймовірностей, що лежать в основі ПММ

Пуассонівські приховані марковські моделі (ППММ) є різновидом ПММ [7, 8]. ППММ є дискретними часовими стохастичними процесами $\{(X_t, Y_t)\}_{t \in N}$, такими що $\{X_t\}_{t \in N}$ є недосліджуваною нескінченною множиною марковських ланцюжків та $\{Y_t\}_{t \in N}$ є досліджуваною

послідовністю випадкових змінних, залежних від $\{X_t\}_{t \in N}$. Це змодельоване припущення про те, що умовний розподіл кожного досліджуваного Y_t задається послідовністю $\{X_t\}_{t \in N}$ та залежить виключно від одночасно недосліджуваних X_t . Більш того, задані $\{X_t\}_{t \in N}$ та $\{Y_t\}_{t \in N}$ є послідовностями умовно незалежних спадкових величин. Якщо ми припустимо, що для кожного t , Y_t , який задає множину X_t , є пуасонівською випадковою величиною, то будемо мати так звані ППММ. В цьому випадку X_t визначає пуасонівський параметр, який використовується для генерації Y_t .

Гаусівські ПММ є різновидом ПММ. Гаусівські ПММ поділяються на ПММ з лінійним гаусівським простором станів та змішані гаусівські ПММ.

Класифікація ПММ за параметричністю

ПММ діляться на параметричні та непараметричні. В параметричних ПММ передбачається, що характеристики досліджуваних об'єктів описуються у вигляді розподілів, що залежать від (одного чи декількох) числових параметрів. Параметризація дозволяє за короткий час «програти» (з допомогою зміни параметрів) різні ситуації та уникнути принципових помилок.

Непараметричні ПММ не пов'язані зі специфікацією параметричного сімейства для розподілу досліджуваних характеристик. На відміну від параметричної ПММ для непараметричних ПММ не робиться ніяких припущень про нормальність вибірок. Це істотно розширює коло розглянутих завдань.

Класифікація ПММ за видом топології

У мережевих ПММ компактно відображаються найбільш суттєві відносини між елементами. Зазвичай мережеві моделі зображуються в явному графічному вигляді. Поширеною формою подання мережеских моделей є графи.

Якщо в ПММ елементи, що входять до неї, розглядаються, в свою чергу, як ПММ, то сама ПММ зветься ієрархічною ПММ.

Класифікація ПММ за гомогенністю

Гомогенна ПММ - однорідна модель, тобто модель, яка складається з однотипних елементів. Наприклад, гомогенною ПММ буде ПММ з однаковим розподілом імовірності переходів між усіма станами. Гетерогенна ПММ - неоднорідна модель, що складається з однорі-

дних частин (фаз), розділених між собою. Однорідні частини (фази) можуть відрізнятися одна від одної за складом та властивостями. Тобто гетерогенні ПММ – це моделі, в яких різні розподіли імовірності переходів між різними станами.

Класифікація ПММ за лінійністю

Лінійна залежність однієї величини від іншої - це пропорційність їх приростів. Аналогічно визначається поняття лінійної ПММ. Будемо вважати, що на початку відліку входи та виходи вибрані так, що нульовому входу відповідає нульовий вихід. Тоді ПММ називається лінійною, якщо в ній виконаний принцип суперпозиції (накладення), тобто при складанні входів складаються і виходи, а при множенні входу на будь-яке число вихід множиться на те ж число. Якщо цей принцип не виконаний, ПММ називається нелінійною ПММ. Лінійні моделі зазвичай описуються лінійними неоднорідними рівняннями - алгебраїчними, диференціальними тощо, в яких неоднорідний член відповідає входу, а рішення – виходу.

Класифікація ПММ за динамічними властивостями

Статичні ПММ – це моделі, в яких система представляється незмінною в часі. Такі моделі зручні, коли потрібно описати структуру системи, тобто з яких об'єктів вона складається, як ці об'єкти пов'язані один з одним, і які властивості цих об'єктів. Образно кажучи, статична модель є як би «фотографією» істотних властивостей системи в певний момент часу.

Динамічні ПММ – це моделі, які містять інформацію про поведінку системи та її складових частин. Для опису поведінки зазвичай використовуються записані у вигляді формул, схем чи комп'ютерних програм співвідношення, що дозволяють обчислити параметри системи та її об'єктів, як функції часу.

Класифікація ПММ за структурою матриці переходів

Блочно-діагональні ПММ – це ПММ, в якій матриця переходів P за структурою є блочно-діагональною. *Блочно-діагональна матриця* – це блочна квадратна матриця, в якій блоки також є квадратними матрицями, а блоки поза основною діагоналлю є нульовими матрицями. Блочно-тридіагональні ПММ – це ПММ, в яких матриця переходів P за структурою є блочно-тридіагональною. Діагонально-постійні ПММ – це ПММ, в яких матриця переходів P за структурою є діагонально постійною.

Гібридні приховані марковські моделі

Нейронні ПММ

Приховані марковські моделі та штучні нейронні мережі (ШНМ) взаємно доповнюють один одного та компенсують властиві їм недоліки. Це призвело до ідеї комбінувати ці структури в рамках однієї нової моделі, яку можна визначити як гібридну ПММ/ШНМ модель чи гібридну нейронну ПММ. Гібридна модель дозволяє ефективно об'єднати переваги марківських моделей та нейронних мереж, тобто ПММ забезпечує можливість моделювання довготривалих залежностей, а ШНМ забезпечує непараметричну універсальну апроксимацію, оцінку імовірності, алгоритми дискримінантного навчання, зменшення числа параметрів для оцінки, які зазвичай потрібні для стандартних ПММ. Результатом використання таких гібридних структур явилось значне підвищення якості розпізнавання в порівнянні із стандартними методами [9 – 12].

ПММ з фільтром Калмана

Неперервне навчання ПММ виконується доволі повільно. Це серйозне обмеження можна обійти, розглянувши навчання ПММ з учителем як завдання оптимальної фільтрації, рішення якої рекурсивно використовує інформацію, що міститься в даних навчання, неявно повертаючись до першої ітерації процесу навчання. Ця ідея лежить в основі ПММ з фільтром Калмана [7]. Серед переваг ПММ з фільтром Калмана слід виділити ефективне використання інформації, що міститься у вхідних даних.

ПММ з алгоритмом Монте-Карло

Гібридна ПММ з алгоритмом Монте-Карло (ПМММК) являє собою алгоритм навчання для ПММ з неперервними простором станів та простором спостережень. ПМММК працює з неперервним простором станів та спостережень. Цей підхід використовує методи Монте-Карло для апроксимації великих непараметричних класів функцій щільності. Також в ПМММК передбачається, що всі простори та випадкові змінні (наприклад, стан, спостереження) вимірні. Передбачається також, що якщо інше не зазначено, всі розподіли ймовірностей неперервні та мають неперервні функції щільності.

Класифікація гібридних ПММ за особливостями логіки

Побудова гібридної моделі на основі апарату нечітких множин та прихованих марковських моделей отримала назву нечіткої прихо-

ваної марковської моделі (НПММ). Для НПММ застосовуються вже відомі принципи гібридизації різноманітних моделей з прихованими марковськими моделями [13, 14]. Особливістю цього підходу є застосування алгоритму нечіткого очікування в ПММ. Основною перевагою НПММ у порівнянні зі звичайними ПММ є вища продуктивність НПММ у порівнянні зі звичайними ПММ.

Висновки

На сьогодні не існувало повної класифікації ПММ, які були визначені у багатьох наукових статтях. Тому ціллю нашого дослідження було створення такого роду класифікації.

Слід зазначити, що нами була отримана найбільш повна класифікація сучасних ПММ та галузей їх застосування.

Головним результатом дослідження стала класифікація прихованих марковських моделей. Також були розглянуті основи теорії прихованих марковських моделей, а саме: марковський процес, загальна класифікація імовірнісних моделей, класифікація марковських моделей, класифікація прихованих марковських моделей, класифікація класичних ПММ, гібридні ПММ, а також класифікація типів задач, які розв'язуються за допомогою ПММ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Baker J. K. The DRAGON system / Baker J. K. – IEEE Trans. Acoust., Speech Signal Processing, vol. ASSP-23, Feb. 1975. – pp. 24–29.
2. Baker J. Trainable grammars for speech recognition / Baker J. – Boston, MA.: In Speech communication paper presented at the 97th Meeting of the Acoustical Society of America, 1979. – pp. 547–550.
3. Марков А.А. Теория чисел. Теория вероятностей / Марков А.А. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – (Избранные труды).
4. Колмогоров А. Н. Основные понятия теории вероятностей / Колмогоров А. Н. – [Изд. 2-е]. – М.: Наука, 1974. – 120 с.
5. Richardson M. Markov logic networks / Richardson M., Domingos P. – Dept. Comp. Sci. & Eng., Univ. Washington, Seattle, 2004.
6. Fraser A. M. Hidden Markov models and dynamical systems / Fraser Andrew M. – Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics. 2008.
7. Баклан І.В. Пуасонівські приховані марковські моделі / Баклан І.В., Степанкова Г.А. / Сучасні інформаційні та інноваційні техно-

- логії на транспорті: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2010. Т. 1. – С.122 – 126.
8. Баклан І.В. Дослідження властивостей пуасонівських прихованих марковських моделей для прогнозування часових рядів / Баклан І.В., Степанкова Г.А. – Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнародної наукової конференції. – Херсон: ХНТУ, 2010. Т. 1. – С.238 – 243.
9. Степанкова Г.А. Особливості гібридизації нейронних мереж та прихованих марківських моделей / Степанкова Г.А., Баклан І.В. – Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы: материалы IX Международной научно-технической конференции. – Донецк: ИПИИ «Наука і освіта». 2008. Т.1. – С.328 – 333.
10. Степанкова Г.А. Побудова гібридних моделей на основі прихованих марківських моделей та нейронних мереж / Степанкова Г.А., Баклан І.В. – Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 2008. №1(21). – С.5 – 11.
11. Баклан І.В. Застосування гібридних нейронних мереж для прогнозування фінансових часових рядів / Баклан І.В., Степанкова Г.А. – Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції (26-30 травня 2009р., Київ). – К.: ННК «ІПСА» НТУУ «КПІ», 2009. – С.261.
12. Баклан І.В. Гібридні моделі в статистичних методах розпізнавання образів / Баклан І.В., Рифа В.М. – Вісник Херсонського Державного Технічного Університету № 3 (19). - Херсон: ХДТУ. 2003. – С.26-28.
13. Баклан І.В., Гібридні технології в проектуванні інтелектуальних систем прийняття рішень / Баклан І.В. – Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2009. Т.1 – С.32 –37.
14. Баклан І.В. Нечіткі приховані марковські моделі для прогнозування часових рядів / Баклан І.В., Степанкова Г.А. – Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы ИИ-2010: материалы Международной научно-технической конференции. – Донецк: ИПИИ «Наука і освіта». 2010. Т.2. – С. 19 – 24.

Д.Н. Тогобицкая, А.Ю. Гринько, А.И. Белькова
**МИНИМИЗАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ЗАШУМЛЕННОСТИ ВХОДНОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ДОМЕННОМ ПРОЦЕССЕ НА ОПИСАНИЕ
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОГЛАСОВАНИЯ РАСПЛАВОВ В
ГОРНЕ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

Аннотация. В работе описан, разработанный в ИЧМ на базе метода Тихонова и совокупности итерационных методов, алгоритм минимизации отклонений материального баланса доменной плавки, позволяющий получить матричную систему сбалансированных данных о параметрах доменного процесса. Показано, что применение данного алгоритма к производственным данным позволяет повысить точность описательных моделей доменного процесса, в частности, термодинамическое согласование расплавов в горне доменной печи.

Ключевые слова: материальный баланс доменной плавки, математическая модель, чугуны, шлак.

Обеспечение АСУТП доменной плавки адекватными математическими моделями дает технологам мощный инструмент оперативного управления процессом выплавки чугуна, основной целью которого является снижение материалоемкости и повышение качества продуктов плавки. Для создания адекватных математических моделей, необходимо наличие достоверной информации о загружаемых в доменную печь шихтовых материалах и их соответствии выпуску чугуна. Однако в реальных условиях производства, где расхождение баланса материалов обусловлено влиянием большого количества факторов, данные о параметрах доменного процесса, используемые разработчиками моделей в качестве базовых, несут в себе большие погрешности, что существенно снижает точность описательных моделей. Для создания адекватных прогнозных моделей необходимо, прежде всего, разработать алгоритм минимизации отклонений системы нелинейных уравнений материального баланса, который дал бы возможность уменьшить несоответствие материального баланса.

Ниже описан алгоритм [1], разработанный нами на базе метода Тихонова [2] и совокупности итерационных методов.

Систему балансовых уравнений, составленных по всем химическим соединениям шихтовых материалов, можно записать в виде:

$$Ax = By \quad (1)$$

где $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$ – вектор материалов шихты (в тоннах), $[]^T$ – знак транспонирования, $A = [a_{ij}]_{i=\overline{1,n}; j=\overline{1,m}}$ – матрица процентного содержания i -го химического соединения в j -м материале шихты, $y = [y_1, y_2, \dots, y_k]^T$ – вектор весов химических соединений продуктов плавки (в тоннах), $B = [b_{ij}]_{i=\overline{1,n}; j=\overline{1,k}}$ – матрица процентного содержания i -го химического соединения в j -м продукте плавки; n – количество химических соединений, по которым сводится баланс; m – количество входных компонентов (материалов шихты); k – количество выходных компонентов (продуктов плавки) (рис. 1).

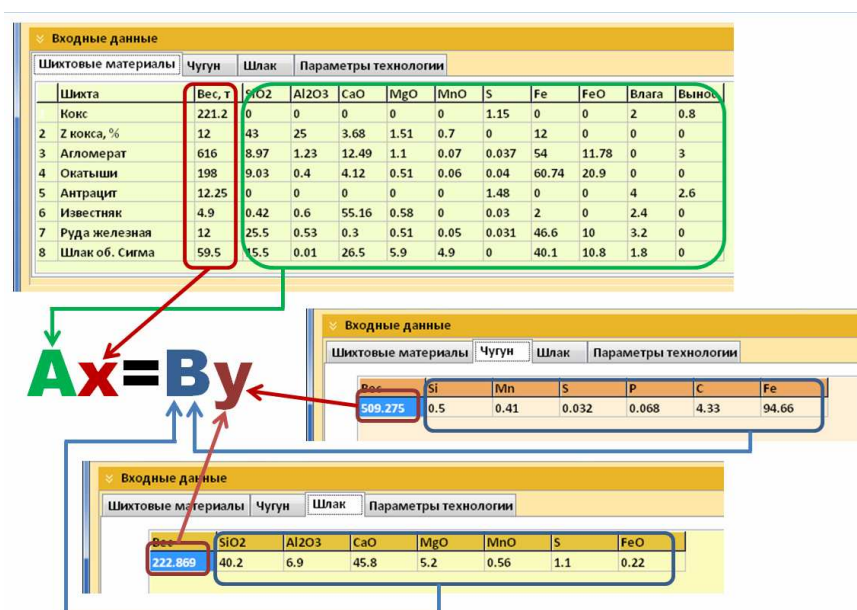


Рисунок 1 - Система балансовых уравнений, составленная по всем химическим соединениям шихтовых материалов

Система нелинейных уравнений (1) отображает закон сохранения масс отдельных соединений на входе и на выходе доменного процесса. Несоответствие материального баланса для выпуска, представленного на рис.1 показано на рис. 2.

Отклонения материального баланса							
По исходным данным:							
	Si	Al	Ca	Mg	Mn	S	Fe
Приход (т)	44.23	7.77	72.82	6.94	2.78	2.95	474.96
Выход (т)	43.07	8.14	72.95	6.99	2.58	2.61	482.46
Несоответствие (т)	-1.15	0.37	0.13	0.05	-0.19	-0.33	7.50

Рисунок 2 - Отклонения материального баланса исходных данных

В системе $(n + 1) \cdot (m + k)$ неизвестных, связанных m зависимостями. Поскольку уравнений меньше, чем неизвестных, то система (1) имеет бесконечное множество решений. Интересным является то решение, которое соответствует физическому процессу. Предполагаем, что такое решение существует и оно единственное – обозначаем его x^* , y^* , A^* , B^* .

Векторы x , y матриц A , B в уравнениях (1) известны приближенно, поскольку являются данными производственного процесса и несут в себе погрешности различного рода (неточности измерений, недостаточно полное и/или редкое проведение химического анализа шихтовых материалов, ошибки ручного ввода информации на входе доменного процесса и т.д.). Погрешности, вносимые данными x , y , A , B , оказывают существенное влияние на точность моделей, положенных в основу АСУТП доменной плавки. Для уменьшения несоответствия материального баланса следует установить поправочные коэффициенты ε_x , ε_y , ε_A , ε_B , которые позволили бы уточнить приближенные компоненты векторов x , y и матриц A , B .

Уточнение осуществляется итерационным методом, в котором известные значения x , y , A , B берутся за нулевое приближение $x^{(0)}$, $y^{(0)}$, $A^{(0)}$, $B^{(0)}$. Учитывая то, что x^* , y^* , A^* , B^* является решением системы (1), то можно записать:

$$\begin{aligned} x^* &= x^{(0)} + \varepsilon_x, \quad A^* = A^{(0)} + \varepsilon_A, \\ y^* &= y^{(0)} + \varepsilon_y, \quad B^* = B^{(0)} + \varepsilon_B \end{aligned} \quad (2)$$

где ε_x , ε_y , ε_A , ε_B – векторы и матрицы поправок к нулевому приближению. Именно их и необходимо найти. Подставляя точное решение (2) в систему нелинейных уравнений (1) – получим:

$$(A^{(0)} + \varepsilon_A)(x^{(0)} + \varepsilon_x) = (B^{(0)} + \varepsilon_B)(y^{(0)} + \varepsilon_y) \quad (3)$$

Перемножив, получим:

$$A^{(0)}x^{(0)} + \varepsilon_A x^{(0)} + A^{(0)}\varepsilon_x + \varepsilon_A \varepsilon_x = B^{(0)}y^{(0)} + B^{(0)}\varepsilon_y + \varepsilon_B y^{(0)} + \varepsilon_B \varepsilon_y \quad (4)$$

Компоненты поправочных векторов и матриц будем считать малыми настолько, чтобы их произведения можно было пренебречь. Тогда, отбросив эти произведения $(\varepsilon_A \varepsilon_x, \varepsilon_B \varepsilon_y)$, получим систему линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) относительно $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ и $\varepsilon_A, \varepsilon_B$:

$$A^{(0)}x^{(0)} + \varepsilon_A x^{(0)} + A^{(0)}\varepsilon_x = B^{(0)}y^{(0)} + B^{(0)}\varepsilon_y + \varepsilon_B y^{(0)}$$

или

$$A^{(0)}\varepsilon_x + \varepsilon_A x^{(0)} - B^{(0)}\varepsilon_y - \varepsilon_B y^{(0)} = B^{(0)}y^{(0)} - A^{(0)}x^{(0)} \quad (5)$$

Система (5) линейных алгебраических уравнений является недоопределенной, поскольку количество неизвестных превышает количество уравнений и, как следствие, имеет бесконечное множество решений.

Перепишем систему (5) в виде:

$$Dz = u \quad (6)$$

где D – матрица системы (5), z – вектор неизвестных $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_A, \varepsilon_B$, u – вектор правой части.

Матрица системы (6) и вектор правой части известны приближенно. Учитывая это, для нахождения приближенного решения системы (6) используется метод регуляризации Тихонова [2], использующий регуляризирующий оператор следующего вида:

$$(D^T \cdot D + \alpha \cdot E) \cdot z = D^T \cdot u \quad (7)$$

где D^T – транспонированная исходная матрица, α – параметр регуляризации, E – единичная матрица.

Определить параметр регуляризации α можно, задав предварительно функцию $\alpha = \alpha(\delta)$ удовлетворяющую условиям теоремы Тихонова. В данном случае используется метод половинного деления.

Решив СЛАУ (7) методом Холецкого, получим z – вектор неизвестных $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_A, \varepsilon_B$ – приближенных значений компонентов поправочных векторов и матриц. Если найденные значения $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_A, \varepsilon_B$ подставить в правую часть зависимостей (2), то будем иметь не точное решение, а следующую (первую) итерацию.

Таким образом, приходим к следующему алгоритму минимизации отклонений системы нелинейных уравнений материального баланса:

1. Зная компоненты векторов $x^{(p)}, y^{(p)}$ и матриц $A^{(p)}, B^{(p)}$ (при $p=0$ это входные данные задачи – веса и химические составы шихтовых материалов и продуктов плавки), решаем СЛАУ (5) и находим компоненты векторов $\varepsilon_x^{(p)}, \varepsilon_y^{(p)}$ и матриц $\varepsilon_A^{(p)}, \varepsilon_B^{(p)}$.

2. По зависимостям (2) вычисляем следующую итерацию:

$$x^{(p+1)} = x^{(p)} + \varepsilon_x^{(p)}, \quad A^{(p+1)} = A^{(p)} + \varepsilon_A^{(p)},$$

$$y^{(p+1)} = y^{(p)} + \varepsilon_y^{(p)}, \quad B^{(p+1)} = B^{(p)} + \varepsilon_B^{(p)}$$

3. Если выполняется заданное условие выхода из цикла, то останавливаемся. Если нет, то переходим на п.1, подставляя в СЛАУ (5) более точные $x^{(p+1)}, y^{(p+1)}, A^{(p+1)}, B^{(p+1)}$ вместо $x^{(p)}, y^{(p)}, A^{(p)}, B^{(p)}$.

Обозначим $\varepsilon^{(p)}$ – вектор решения СЛАУ (5), составленный из векторов $\varepsilon_x^{(p)}, \varepsilon_y^{(p)}$ и матриц $\varepsilon_A^{(p)}, \varepsilon_B^{(p)}$.

Более детальное рассмотрение возможных критериев окончания итерационного процесса сводится к следующему:

1. Близость решений для двух соседних итераций:

$$\|\varepsilon^{(p)} - \varepsilon^{(p+1)}\| < \delta, \text{ где } \delta - \text{заданная погрешность.}$$

2. Норма решения мала: $\|\varepsilon\| < \delta$

3. Достижение заданного количества итераций.

4. Близость экспериментальных и расчетных значений показателей продуктов плавки. Данный критерий дает возможность оценить скорректированные данному алгоритму данные с точки зрения соответствия результатов физико-химическим процессам.

Следует отметить, что использование только одного из критериев 1,2 или 3 не является целесообразным, поскольку может возникнуть ситуация заикливания, если использовать условия 1 или 2, а предположить необходимое количество итераций тоже достаточно сложно. В связи с этим используется комбинация критериев 1,2 и 3. Условие 4 также рекомендуется соединять с критерием 3.

Для корректной работы алгоритма вводятся также обоснованные с точки зрения физ-химии интервалы, в границах которых может колебаться решение. Это является уместным, когда известно, что некоторые данные являются более точными и нет необходимости далеко отходить от нулевого приближения, а некоторые являются дос-

таточно приближенными, поэтому могут достигать значительных колебаний.

Результатом работы вышеизложенного алгоритма является матричная система сбалансированных данных о параметрах доменного процесса, которая и служит массивом исходных данных при идентификации параметров математических моделей прогнозирования результатов доменного процесса (рис. 3). Несоответствие материального баланса для выпуска, представленного на рис.1 в результате работы алгоритма минимизации значительно сократилось как это показано на рис. 4.

Входные данные											
Шихтовые материалы		Чугун		Шлак		Параметры технологии					
Шихта	Вес, т	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	Fe	FeO	Влага	Вынос
1 Кокс	221.2	0	0	0	0	0	1.15	0	0	2	0.8
2 З кокса, %	12	43	25	3.68	1.51	0.7	0	12	0	0	0
3 Агломерат	616	8.97	1.23	12.49	1.1	0.07	0.037	54	11.78	0	3
4 Окатыши	198	9.03	0.4	4.12	0.51	0.06	0.04	60.74	20.9	0	0
5 Антрацит	12.25	0	0	0	0	0	1.48	0	0	4	2.6
6 Известняк	4.9	0.42	0.6	55.16	0.58	0	0.03	2	0	2.4	0
7 Руда железная	12	25.5	0.53	0.3	0.51	0.05	0.031	46.6	10	3.2	0
8 Шлак об. Сигма	59.5	15.5	0.01	26.5	5.9	4.9	0	40.1	10.8	1.8	0

Минимизация невязок											
Шихтовые материалы		Чугун		Шлак							
Шихта	Вес, т	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	Fe	FeO	Влага	Вынос
1 Кокс	221.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.149	0.00	0.00	2	0.8
2 З кокса, %	12.00	42.99	25.00	3.68	1.51	0.70	0.000	12.03	0.00	0	0
3 Агломерат	616.00	8.69	1.32	12.51	1.11	0.06	0.037	54.68	11.78	0	3
4 Окатыши	198.00	8.94	0.43	4.13	0.51	0.05	0.033	60.96	20.90	0	0
5 Антрацит	12.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.475	0.00	0.00	4	2.6
6 Известняк	4.90	0.42	0.60	55.16	0.58	0.00	0.028	2.01	0.00	2.4	0
7 Руда железная	12.00	25.49	0.53	0.30	0.51	0.05	0.026	46.61	10.00	3.2	0
8 Шлак об. Сигма	59.50	15.47	0.01	26.50	5.90	4.90	0.000	40.17	10.80	1.8	0

Входные данные											
Шихтовые материалы		Чугун		Шлак		Параметры технологии					
Вес	Si	Mn	S	P	C	Fe					
509.275	0.5	0.41	0.032	0.068	4.33	94.66					

Минимизация невязок											
Шихтовые материалы		Чугун		Шлак							
Вес	Si	Mn	S	P	C	Fe					
509.275	0.56	0.44	0.032	0.068	4.33	94.08					

Входные данные											
Шихтовые материалы		Чугун		Шлак		Параметры технологии					
Вес	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	FeO				
222.869	40.2	6.9	45.8	5.2	0.56	1.1	0.22				

Минимизация невязок											
Шихтовые материалы		Чугун		Шлак							
Вес	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	FeO				
222.869	40.31	6.87	45.79	5.20	0.57	1.195	0.20				

Рисунок 3 - Минимизация отклонений материального баланса

После минимизации невязок:							
	Si	Al	Ca	Mg	Mn	S	Fe
Приход (т)	43.34	8.10	72.94	6.98	2.71	2.93	479.49
Выход (т)	43.34	8.10	72.94	6.98	2.71	2.83	479.49
Несоответствие (т)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.00

Рисунок 4 - Отклонения материального баланса
сбалансированных данных

Для описания результатов формирования и взаимодействия металлической и шлаковой фаз при выплавке чугуна нами используется методика физико-химического моделирования состава и свойств металлургических расплавов, созданная на базе фундаментальных разработок ИЧМ НАНУ [3-4] и технологических приемов ведения плавки в доменных цехах комбината. Данная методика позволяет с единых теоретических позиций обобщать достижения различных исследований и описывать взаимосвязи между составом, электронной структурой и свойствами соединений с помощью интегральных и парциальных параметров, которые характеризуют химическое и структурное состояние этих веществ.

В работах [5-6] сформулированы основные принципы рассмотрения вопросов взаимодействия между металлом и шлаком с позиций кооперативного ионообменного процесса, на основе которого были получены первые результаты в описании условий согласования расплавов при достижении ими равновесия, а именно, коэффициентов межфазного распределения элементов в окислительных условиях. Далее, в работе [7] была показана тесная связь между интегральными физико-химическими характеристиками чугуна и шлака. В частности, для условий ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» была получена зависи-

мость $Z^Y = f(\frac{\rho}{\Delta e})$ для описания условия согласования расплавов в горне доменной печи, где Z^Y – химический эквивалент состава чугуна, Δe – химический эквивалент состава шлака, ρ показатель стехиометрии шлака. Коэффициент корреляции данной модели, построенной на данных производственного процесса (рис. 1) был равен 0,66. Применение алгоритма минимизации отклонений системы нелинейных уравнений материального баланса позволило получить систему сбалансированных данных (рис. 3), использование которых для построения модели вычисления условия согласования расплавов в системе «чугун-шлак» позволило повысить коэффициент корреляции до 0,79 (рис. 5).

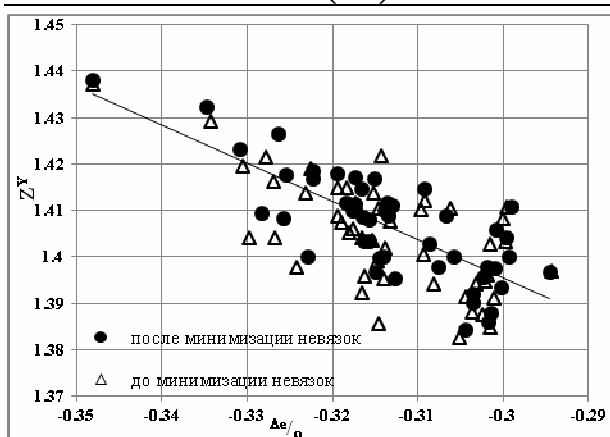


Рисунок 5 - Зависимость между интегральными показателями чугуна и шлака в условиях ДП №9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

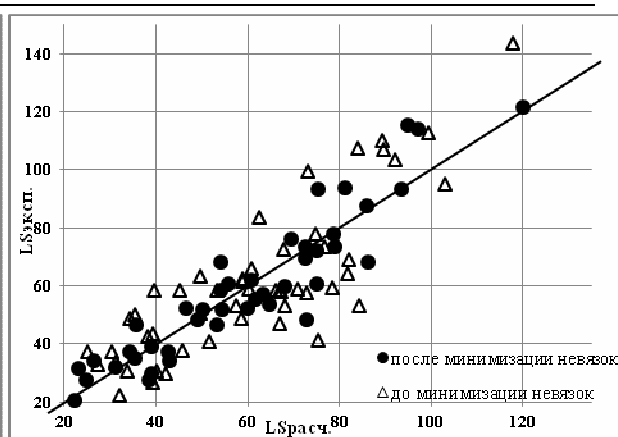


Рисунок 6 - Соответствие расчетных и экспериментальных данных величины LS в условиях ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Аналогично описанным выше результатам, применение алгоритма минимизации отклонений системы нелинейных уравнений материального баланса к массивам производственных данных позволило также повысить коэффициент корреляции модели $LS = f(Z^Y, \Delta e, \rho)$ с 0,84 до 0,93 (рис. 6).

Таким образом, созданный на базе метода Тихонова и совокупности итерационных методов алгоритм, позволяет, имея в условиях «зашумленных» входных данных процесса выплавки чугуна получить на выходе матричную систему сбалансированных данных о параметрах доменного процесса. Использование матричной системы сбалансированных данных позволяет повысить точность описательных моделей термодинамического согласования расплавов в горне доменной печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко Л. Т., Тогобицька Д. М., Кураєва Т. В., Пантелєєва Ю. А. Компьютерная система сведения баланса материалов доменной плавки // Питання прикладної математики і математичного моделювання. Збірник наукових праць. – Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ ім. Олесь Гончара, 2008. – с. 37-47.
2. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач / Наука – М., 1979. – 288с.
3. Приходько Э. В. Металлохимия многокомпонентных систем – М.: Металлургия, 1995. – 320с.
4. Тогобицкая Д.Н., Оторвин П.И., Белькова А.И., Гринько А.Ю. Автоматизированная система контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки // Metallurg. – Москва, 2004. – №4. – С.43-46.
5. Тогобицкая Д. Н. Моделирование межфазного распределения элементов в системе "металл-шлак" при выплавке чугуна // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1999. – № 1. – С. 115–119.
6. Тогобицкая Д.Н. Система "металл-шлак" как объект моделирования // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Киев: Наукова Думка. – 1998. – С. 98-104.
7. Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Гринько А.Ю. Развитие физико-химических основ системы управления шлаковым режимом доменной плавки на основе описания термодинамического согласования расплавов в горне доменной печи // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Днепропетровск – 2011. – Вып.23. – С.105-112.

ОСОБЕННОСТИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТРОСОВОЙ СИСТЕМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ЯЗЫКА PYTHON

Анотація. Проведено порівняльний аналіз використання пакетів Python(x,y) і MATLAB для дослідження динаміки експериментальної тросової системи. Показано, що в рамках розглянутої задачі обидва пакети є порівнянні за зручності роботи й можливостям для програмування. Зазначено перспективи використання вільного програмного забезпечення, заснованого на Python, для реалізації різних підходів до моделювання динамічних систем.

Создание космических тросовых систем (КТС) — систем, состоящих из спутников, соединенных протяженными гибкими нитями — представляется одним из перспективных направлений современной космонавтики [1—3]. Математические модели динамики КТС, как правило, достаточно громоздки. Поэтому верификация компьютерных программ, реализующих эти модели, представляет собой серьезную проблему [4]. Надежность результатов расчетов может быть обеспечена благодаря использованию различных программных средств и различных подходов к моделированию динамики подобных систем.

Рассмотрим систему, состоящую из твердого тела, подвешенного на невесомой упругой нити (рис. 1). Она представляет собой частный случай экспериментальной тросовой системы [5] и может служить для проверки программ расчета динамики последней.

В [6] рассмотрены особенности исследования динамики данной системы с помощью средств численного моделирования (MATLAB), с использованием символьного вывода уравнений движения (Maple), а также физическое моделирование¹ на основе блок-схемы рассматриваемой системы (MapleSim). Поскольку указанные программы являются коммерческими, то их совместное использование может потре-

¹ терм, н, пр, надлежащ, й разработч, кам [7].

бовать значительных финансовых затрат. В связи с этим возникает вопрос: существует ли свободное программное обеспечение (ПО), способное заменить коммерческое в данной области расчетов. Для определенности, ограничимся сравнением с MATLAB.

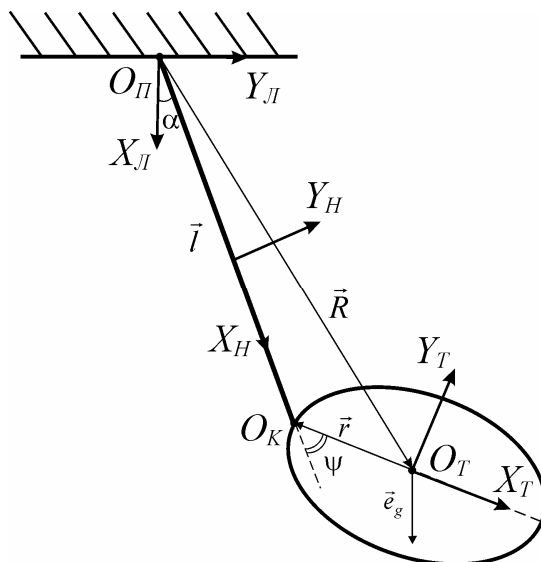


Рисунок 1 – Схема модели

Целью нашей работы является выбор свободного ПО для численного моделирования рассматриваемой системы, и сравнительный анализ особенностей моделирования с помощью данного ПО и MATLAB.

Математическая модель

Запишем уравнения движения системы, изображенной на рис. 1. Предполагая, что массой нити в сравнении с массой тела можно пренебречь, получим

$$\begin{aligned} m\ddot{\vec{R}} &= \vec{F}_{mp} + mg\vec{e}_g, \\ \dot{\vec{L}} &= \vec{r} \times \vec{F}_{mp}, \end{aligned} \quad (1)$$

где m — масса тела; $\vec{R}$ — радиус-вектор центра масс тела (точка O_T) относительно точки подвеса нити $O_П$; $\vec{F}_{mp}$ — сила натяжения нити; $\vec{e}_g$ — единичный вектор по направлению действия ускорения земного тяготения $\vec{g}$; $\vec{r} = \overrightarrow{O_T O_K}$ (рис. 1); $\vec{L}$ — кинетический момент движения тела относительно центра масс.

Предположим далее, что упругие свойства нити описываются законом Гука, а рассеивание энергии движения системы происходит за счет вязкого трения в материале нити

$$\vec{F}_{mp} = - \left[c \frac{\vec{l}}{l} \frac{(l-d)}{d} + \chi \dot{\vec{l}} \frac{\vec{l}}{l} \right] \delta, \quad \delta = \begin{cases} 1 & l > d, \\ 0 & l \leq d, \end{cases}$$

где $\vec{l} = \overrightarrow{O_{\Pi} O_K}$ (рис. 1), $l = |\vec{l}|$, $\dot{\vec{l}} = (\dot{\vec{l}}, \ddot{\vec{l}}) / |\dot{\vec{l}}|$; d — номинальная длина нити; c — коэффициент жесткости; χ — коэффициент демпфирования.

Для описания движения системы введем следующие правые системы координат.

$O_{\Pi} X_{\Pi} Y_{\Pi} Z_{\Pi}$ — лабораторная система координат (ЛСК) с началом в точке подвеса нити O_{Π} . Ось $O_{\Pi} X_{\Pi}$ направлена вдоль местной вертикали, ось $O_{\Pi} Z_{\Pi}$ — перпендикулярно плоскости наблюдения в сторону наблюдателя, ось $O_{\Pi} Y_{\Pi}$ лежит в плоскости наблюдения;

$O_{\Pi} X_n Y_n Z_n$ — система координат, связанная с нитью (СКН) с началом в точке O_{Π} (на рис. 1 начало координат СКН смещено из соображений наглядности). Ось $O_{\Pi} X_n$ направлена вдоль линии нити, соединяющей точку O_{Π} и точку O_K , ось $O_{\Pi} Z_n$ — вдоль мгновенной угловой скорости вращения вектора $\overrightarrow{O_{\Pi} O_K}$;

$O_T X_T Y_T Z_T$ — система координат, связанная с телом (СКТ) с началом в центре масс тела O_T . Оси СКТ направлены по главным центральным осям инерции тела.

Взаимная ориентация систем координат описывается следующим образом: $O_{\Pi} X_n Y_n Z_n$ и $O_T X_T Y_T Z_T$ — углами Крылова ϕ, θ, ψ , соответственно углами крена, тангажа и рысканья; $O_{\Pi} X_{\Pi} Y_{\Pi} Z_{\Pi}$ и $O_{\Pi} X_n Y_n Z_n$ — углами α, β (рис. 2) и радиусом-вектором $\vec{l} = \overrightarrow{O_{\Pi} O_K}$ (рис. 1).

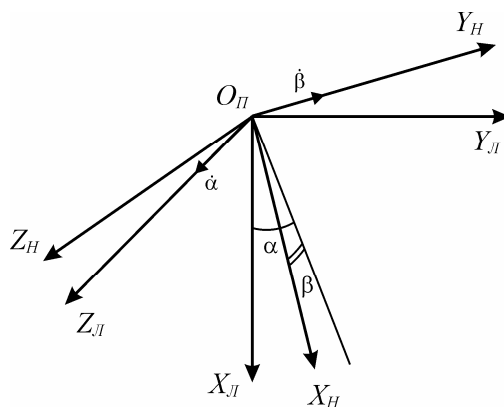


Рисунок 2 — Взаимная ориентация осей ЛСК и СКН

Матрицы перехода между системами координат:

$$A_{лн} = \begin{pmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\sin \alpha & \cos \alpha \sin \beta \\ \sin \alpha \cos \beta & \cos \alpha & \sin \alpha \sin \beta \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix},$$

$$A_{нт} = \begin{pmatrix} \cos \theta \cos \psi & -\cos \theta \sin \psi & \sin \theta \\ \sin \phi \sin \theta \cos \psi + \cos \phi \sin \psi & -\sin \phi \sin \theta \sin \psi + \cos \phi \cos \psi & -\sin \phi \cos \theta \\ -\cos \phi \sin \theta \cos \psi + \sin \phi \sin \psi & \cos \phi \sin \theta \sin \psi + \sin \phi \cos \psi & \cos \phi \cos \theta \end{pmatrix}.$$

Кинематические уравнения, связывающие производные углов α, β по времени с проекциями вектора угловой скорости $\vec{\omega}_H$ движения СКН относительно ЛСК на оси СКН имеют вид

$$\dot{\alpha} = -\frac{\bar{\omega}_H(1)}{\cos \beta}, \quad (2)$$

$$\dot{\beta} = \bar{\omega}_H(2).$$

Кинематические уравнения, связывающие производные углов Крылова ϕ, θ, ψ по времени с проекциями вектора угловой скорости $\vec{\omega}_T$ движения СКТ относительно ЛСК на оси СКТ:

$$\begin{pmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{pmatrix} = \frac{1}{\cos \theta} \begin{pmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \cos \theta \sin \psi & \cos \theta \cos \psi & 0 \\ -\sin \theta \cos \psi & \sin \theta \sin \psi & \cos \theta \end{pmatrix} \bar{\omega}_T. \quad (3)$$

Уравнения движения тела (1) и кинематические уравнения (2, 3) образуют замкнутую систему уравнений 1-го порядка с 12 неизвестными.

Выбор программных средств

Ориентируясь на MATLAB как по возможностям (векторизация кода, наличие необходимых библиотек), так и по удобству использования (простота овладения языком, наличие документации, среды разработки, отладчика, профилировщика), естественно рассмотреть его ближайшие аналоги — пакеты GNU Octave [8] и Scilab [9].

Несмотря на то, что отдельные тесты [10] показывают некоторое преимущество Octave по скорости вычислений в сравнении с MATLAB, Octave в целом производит впечатление пакета, находящегося в стадии разработки. Документация пакета скудна, а по сообщениям об ошибках зачастую трудно определить вызвавшие их причины. Собственная среда разработки отсутствует, а визуализация графиков происходит с помощью gnuplot.

В пакете Scilab имеется собственная среда разработки, поддерживается большое число библиотек для численных расчетов (Lapack, LINPACK, ODEPACK, Atlas и др.). В состав пакета также входит Scicos — инструмент для редактирования блочных диаграмм и симуляции (аналог Simulink). Существует литература на русском языке (например, [11]).

Однако оба пакета, что называется, «движутся в колее» MATLAB, не предлагая пользователю каких-либо оригинальных решений.

Возможен другой подход: использование языка программирования общего назначения, снабженного необходимыми библиотеками. Среди таких языков в научных вычислениях вплоть до недавнего времени широко использовались C/C++ и Fortran. Однако в последние годы в этом качестве все чаще используется Python [12, 13]. Достаточно сказать, что в рейтинге популярности языков программирования от 12.2011 Python занимает 8-е место (тогда как MATLAB — 22-е, а Fortran — 28-е) [14].

Для работы, кроме собственно Python (в комплект входят также средства отладки и профилирования), понадобится среда разработки (например, Spyder), а также библиотеки для научных расчетов Numpy (работа с массивами), Scipy (решение дифференциальных уравнений), графическая библиотека Matplotlib и консоль IPython. Все это ПО есть в открытом доступе, как по отдельности, так и в виде готовых сборок.

Среди последних обращает на себя внимание Python(x,y) [15, 16] — комплект из более чем 60 библиотек, который обновляется примерно раз в месяц. Среди библиотек, помимо перечисленных выше: SymPy — выполнение символьных расчетов, PP — параллельные вычисления, Qt — создание графических пользовательских интерфейсов, OpenCV — обработка изображений и компьютерное зрение. Именно эту сборку мы использовали в дальнейшей работе.

Особенности программной реализации

Основой расчетных программ на обоих языках является процедура численного интегрирования уравнений движения (рис. 3).

Одним из достоинств MATLAB является возможность векторизации кода, т. е. выполнения операций над массивом в целом, без ис-

пользования циклов. Такая возможность для Python реализована в библиотеке Numpy [17].

В Python, в отличие от MATLAB, необходимо в явном виде импортировать требуемые функции из библиотек. Так, использованию функций Numpy в коде предшествует строка

```
from numpy import *
```

позволяющая использовать все функции Numpy в основной программе.



Рисунок 3 — блок-схема программы расчета динамики системы

В табл. 1 приведены соответствия функций MATLAB и Numpy. Заметим, что индексация массивов в Python начинается с 0, а не с 1, как это принято в MATLAB.

Таблица 1

MATLAB	Numpy	Комментарии
[1 2 3; 4 5 6]	array([[1.,2.,3.], [4.,5.,6.]])	матрица размерности 2x3
a(2,5)	a[1,4]	элемент второй строки и пятого столбца
a(1:5,:)	a[0:5,:]	первые пять строк a
a'	a.T	транспонирование a
a * b	dot(a,b)	умножение матриц
1:10	arange(1.,11.)	создание диапазона значений от 1 до 10 с шагом 1
[a; b]	concatenate((a,b))	конкатенация строк a и b
A\b	linalg.solve(a,b)	решение системы $Ax = b$

Более подробно сравнение реализаций операций над массивами в Numpy и MATLAB приведено на странице «NumPy for Matlab Users» [18]. Краткое введение в Numpy на русском языке приведено в [19].

Численное интегрирование системы ОДУ осуществляется с помощью функции `integrate.odeint` библиотеки Scipy [20]. Импорт этой функции осуществляется строкой

```
from scipy import integrate
```

Некоторые из функций-решателей ОДУ в MATLAB и их аналоги из Scipy приведены в табл. 2.

Таблица 2

MATLAB	Scipy	Метод интегрирования
ode113	<code>integrate.odeint</code>	Адамса
ode45	<code>scipy.integrate.ode(f).set_integrator('dopri5')</code>	Рунге-Кутта порядка 4 и 5, основанный на модификации Дормана-Принса ²

Рисование графика выполнялось с помощью библиотеки Matplotlib [21]. Строка кода, в которой задается возможность обращения к функциям Matplotlib через префикс `p`, имеет вид:

```
import matplotlib.pyplot as p
```

API Matplotlib специально разработан так, чтобы походить на API MATLAB. Фрагменты кода, отвечающие за построение графика с нанесением координатной сетки, приведены в табл. 3.

Таблица 3

MATLAB	Matplotlib
<code>plot(t,x)</code>	<code>p.plot(t,x)</code>
<code>grid on</code>	<code>p.grid()</code>
	<code>p.show()</code>

Полный текст программ находится по адресу [22].

Результаты расчетов

Расчеты проводились при следующих значениях параметров системы: $m = 1$ кг; моменты инерции тела $J_x = J_y = J_z = 1$ кг·м²; $d = 1$ м; $c = 100$ Н; $\chi = 0$; $\vec{r} = [-0,1; 0; 0]$ (проекция $\vec{r}$ на оси СКТ).

²В программе не используется.

Численное интегрирование проводилось методом Адамса на промежутке времени $[0, 50]$ с.

Исследовались зависимости углов α (рис. 1) и ψ , а также длины нити l от времени. Результаты расчетов, выполненных в Python, приведены на рис. 4—6 ($l(0) = 1$ м, $\alpha(0) = 10^\circ$, $\psi(0) = 0^\circ$).

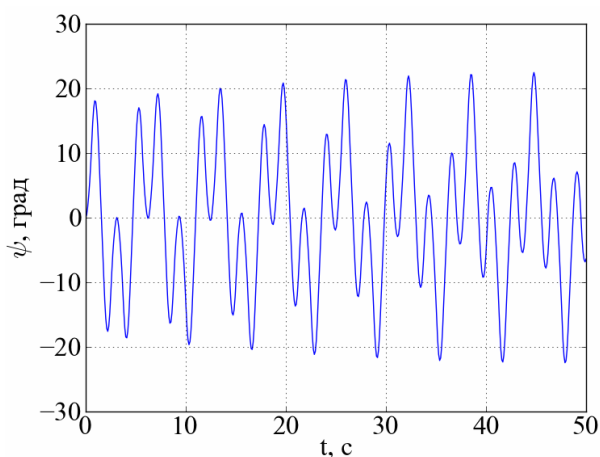


Рисунок 4 — График изменения угла ψ со временем

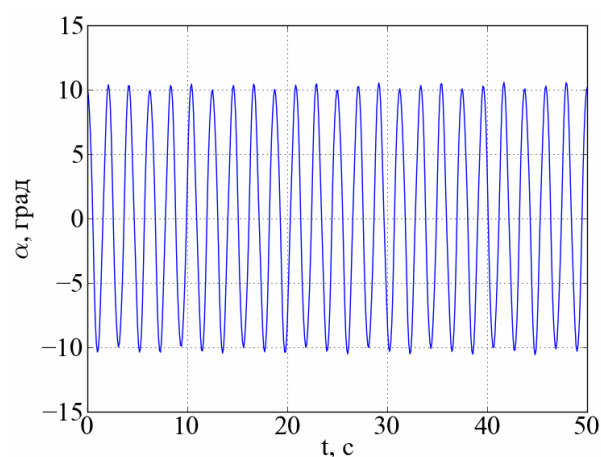


Рисунок 5 — График изменения угла α со временем

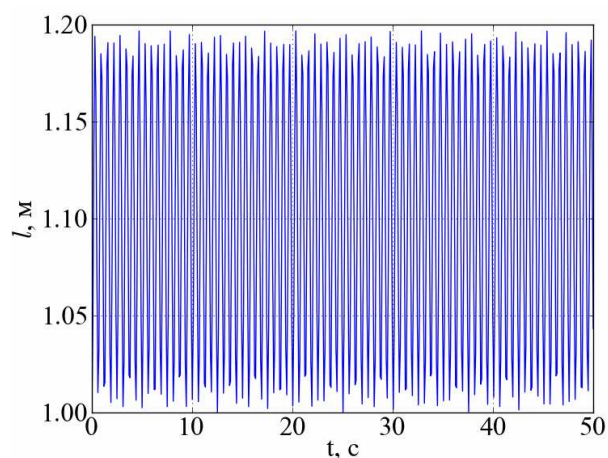


Рисунок 6 — График изменения длины нити l со временем

На рис. 7 приведен график изменения во времени модуля разности расчетных значений угла ψ , полученных в MATLAB и Python (соответствующие графики для α и l аналогичны приведенному на рис. 7).

Разница расчетных значений, по-видимому, связана с тем, что пакеты реализуют различные варианты метода Адамса [23]. Так, в MATLAB решатель ode113 основан на методе Адамса-Башфорта-Моултона (Adams-Bashforth-Moulton PECE), тогда как функция

`integrate.odeint` в Skypu использует решатель `Lsoda` из FORTRAN-библиотеки `Oderpack`.

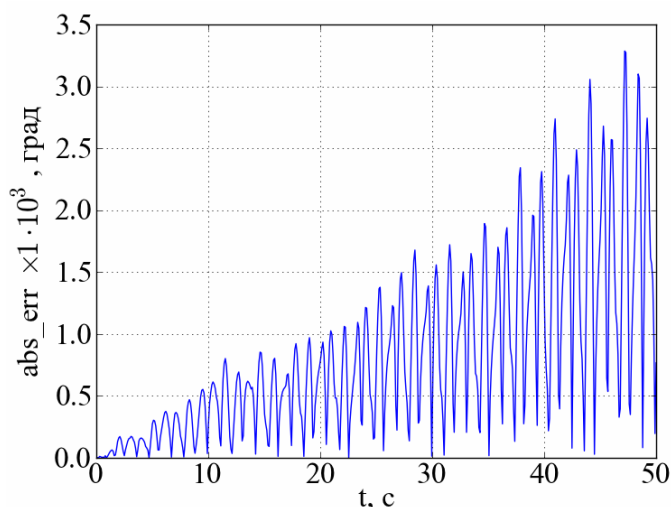


Рисунок 7 — График изменения во времени модуля разности расчетных значений угла ψ , полученных в MATLAB и Python

В таблице 4 приведены результаты тестирования скорости расчетов MATLAB и Python при различном числе точек внутри промежутка интегрирования.

Таблица 4

Время рас- чета, с	Число точек				
	50	500	5000	50 000	500 000
MATLAB	1,09	1,11	1,28	2,58	16,9
Python	4,90	4,68	4,73	6,3-	6,09

Для тестирования использовался компьютер с процессором Intel Core 2 Duo 2.33 ГГц, 2 Гб DDR 2 ОЗУ, Windows XP SP 3 32-bit. Использовались MATLAB v7.11.0.584 (R2010b) и Python(x,y) 2.7.2.1. Тест был выполнен в консольном режиме, результаты усреднены 10 раз.

Результаты тестирования показывают некоторое преимущество MATLAB в скорости расчетов. Следует, однако, отметить, что при этом не предпринималось каких-либо специальных мер по оптимизации Python-программы. В то же время результаты других тестов, в частности, [24], показывают, что такие меры могут привести к существенному росту производительности. В частности, использование Cython [25] (такая возможность есть в Python(x,y)), что влечет за собой незначительную переделку программы, позволяет добиться быстрого действия, сравнимого с программами, написанными на C++.

Выводы и перспективы использования

Сравнение Python(x,y) с MATLAB показало, что в рамках рассмотренной задачи оба пакета обладают сопоставимыми возможностями для программирования и удобством работы. Наличие обширной документации и литературы на русском языке позволяют быстро освоить Python. Существенно и то, что данное ПО никак не связано с MATLAB, и в своем развитии опирается на активное и быстро растущее сообщество Python-программистов.

Использование свободного ПО, основанного на Python, представляется перспективным и для реализации других подходов к моделированию динамических систем, рассмотренных в [5]. Так, SymPy [26] — Python-библиотека для символьных вычислений — уже сейчас обладает возможностями, сравнимыми с Symbolic Math Toolbox MATLAB. Заявленной же целью разработчиков является создание полнофункциональной системы компьютерной алгебры. Система компьютерной алгебры Sage [27], использующая в качестве встроенного языка Python, помимо символьных вычислений позволяет подготавливать научно-техническую документацию с использованием редактора формул и в перспективе может заменить такие пакеты как Maple и Mathematica. JModelica.org [28] — программное средство для моделирования сложных динамических систем, основанное как и Maple-Sim на языке Modelica, использует Python в качестве языка сценариев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белецкий В. В. Динамика космических тросовых систем / В. В. Белецкий, Е. М. Левин. — М. : Наука, 1990. — 329 с.
2. Lorenzini E. C. Tethers in Space Handbook / E. C. Lorenzini, M. L. Cosmo. — 3rd edition. — Smithsonian Astrophysical Observatory, 1997. — 241 p. ([Электронный ресурс] — Режим доступа : <http://www.tethers.com/papers/TethersInSpace.pdf>)
3. Levin E. M. Dynamic analysis of space tether missions / E. M. Levin. — San Diego: American Astronautical Society, 2007. — 453 p.
4. Храмов Д. А. Использование пакета символьных вычислений Maple для моделирования динамики космической тросовой системы со сферическим шарниром // Системные технологии. — 2004. — № 3 (32) — с. 110–116. ([Электронный ресурс] — Режим доступа : http://dkhramov.dp.ua/uploads/Sci/TSGS/ST_khramov_maple.tif)
5. Волощенко О. Л., Пироженко А. В. Модель процессов стабилизации движения концевых тел вращающейся космической тросовой системы в наземных экспериментах // Техническая механика. — 2010 — № 3, с. 106–116.
6. Храмов Д. А. Особенности моделирования динамики экспериментальной тросовой системы современными компьютерными программами // Техническая механика. — 2011. — № 3, с. 91–102. ([Электронный ресурс] — Режим доступа :

- <http://dkhramov.dp.ua/uploads/Sci/HomePage/dkhramov.doc>)
7. High-Performance Physical Modeling and Simulation [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : <http://www.maplesoft.com/products/maplesim/>
 8. Octave [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://www.gnu.org/software/octave/>
 9. Scilab [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://www.scilab.org/>
 10. Тестирование быстродействия MATLAB и GNU/Octave [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : <http://mydebianblog.blogspot.com/2010/10/matlab-gnuoctave.html>
 11. Алексеев Е. Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач / Е. Р. Алексеев, Е. А. Чеснокова, Е. А. Рудченко. — М. : ALT Linux ; Бином. Лаборатория знаний, 2008. — 260 с. ([Электронный ресурс] — Режим доступа : <http://www.altlinux.org/Books:Altlibrary/scilab>)
 12. Langtangen H. P. Python Scripting for Computational Science / H. P. Langtangen. — 3rd Edition — Berlin, Heidelberg : Springer, 2009. — 750 p.
 13. Бизли Д. Python. Подробный справочник / Д. Бизли — СПб. : Символ-Плюс, 2010. — 864 с.
 14. TIOBE Programming Community Index for December 2011 [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : <http://www.tiobe.com/index.php/content/paperinfo/tpci/index.html>
 15. Pythonху [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://code.google.com/p/pythonху/>
 16. Python(x, y) [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : <http://habrahabr.ru/blogs/python/113065/>
 17. NumPy [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://numpy.scipy.org/>
 18. NumPy for Matlab Users [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : http://www.scipy.org/NumPy_for_Matlab_Users
 19. NumPy, пособие для новичков. Часть 1 [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : <http://habrahabr.ru/blogs/python/121031/>
 20. SciPy [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://www.scipy.org/>
 21. Matplotlib [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://matplotlib.sourceforge.net/>
 22. Dkhramov.dp.ua [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://dkhramov.dp.ua/uploads/Sci/HomePage/tb.rar>
 23. Шампайн Л. Ф. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB / Л. Ф. Шампайн, И. Гладвел, С. Томпсон. — СПб. : Издательство «Лань», 2009. — 304 с.
 24. PerformancePython [Электронный ресурс] : веб-страница. — Режим доступа : <http://www.scipy.org/PerformancePython>
 25. Cython: C-Extensions for Python [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://cython.org/>
 26. SymPy [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://sympy.org/>
 27. Sage [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://www.sagemath.org/>
 28. JModelica.org [Электронный ресурс] : веб-сайт. — Режим доступа : <http://www.jmodelica.org/>

Л.Э. Чалая, А.В. Чижевский, Ю.Ю. Шевякова
**МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПРОСОВ В СИСТЕМАХ
ПОИСКА МУЛЬТИЯЗЫЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Аннотация. В статье рассмотрен подход к построению систем автоматизированного поиска мультязычной информации, особенностью которого является возможность существенного уменьшения неоднозначности терминов на основе применения количественных показателей подобия текстов. В практических приложениях данный подход может быть эффективно использован в задачах формирования дайджестов и тезаурусов.

Ключевые слова: система поиска информации, формирование запросов, оценка подобия текстов, мультязычный текст, многозначность терминов.

Введение

В настоящее время, работы, осуществляемые в области создания систем поиска мультязычной информации (СПМИ), основываются главным образом на переводе запросов [1]. Такие системы должны обеспечивать решение следующих задач: перевод терминов запроса; снятие многозначности терминов, если существуют возможные замены; присвоение весов терминам переведенного запроса.

Первая задача относится к переводу запросов. Принимая во внимание то, что в настоящее время не всегда имеются качественные и полные двуязычные словари для всех пар языков, рассмотрим технику перевода смешанных текстов, где основным является русский язык. Действительно, как правило, можно найти двуязычные словари, пригодные для качественного перевода слов языка L_1 на русский язык или русских слов на язык L_2 . Целесообразно обеспечить возможность перевода текстов, представленных на языке L_1 , на язык L_2 , даже если отсутствуют необходимые для этого словари. Помимо использования словарей как средства перевода, эффективным является применение техники, основанной на выравнивании корпусов. Главная

идея глобального подхода к построению СПМИ состоит в построении тезауруса ассоциаций между терминами различных языков. Этот тезаурус используется впоследствии как средство перевода терминов запроса.

Вторая задача касается снятия многозначности переведенных запросов. Большая часть существующих методов снятия многозначности основывается главным образом на использовании выровненных корпусов [2].

В данной работе предлагается метод для уменьшения неоднозначности запросов в СПМИ, основанный на анализе мер подобия терминов и запросов, в качестве которых используются лексикографический порядок и коэффициент корреляции.

Общий подход к построению СПМИ

Общая схема обработки информации в СПМИ подход к созданию СПИ со смешанными языками представлен схематично на рис. 1. Этот подход к построению СПМИ основан, прежде всего, на специфике перевода запросов.

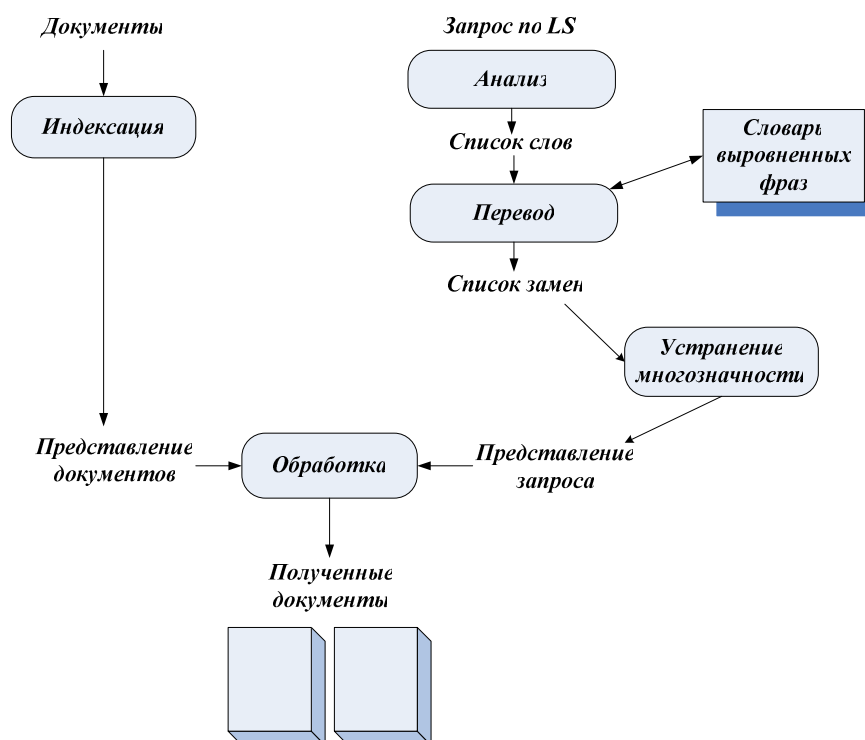


Рисунок 1 - Общая схема обработки информации в СПМИ

Наибольшую сложность в реализации приведенной схемы вызывает решение следующих задач: представление мультязычной информации, перевод мультязычных запросов, снятие многозначности переведенных запросов.

В общем случае, документы текстовых наборов индексируются согласно их языку, индекс также строится на этом языке. Обработка запроса осуществляется следующим образом. Сначала первоначальный запрос анализируется для извлечения простых слов. Каждое слово переводится затем на выходной язык (с использованием одного из возможных методов перевода). Список переведенных терминов индексируется с целью устранения пустых слов и подвергается обработке для обеспечения совместимости его представления с представлением разыскиваемых документов.

Рассмотрим особенности процедур устранения многозначности переведенных запросов в СПМИ.

Метод устранения неоднозначности запросов в СПМИ

Главная проблема методов перевода простых слов, основанного на использовании словарей, часто состоит в том, что словари предлагают несколько возможных вариантов перевода для заданного термина. Эти методы обычно комбинируются со стратегиями устранения многозначности для того, чтобы облегчить проблему однозначности переводов. В сущности, эта проблема состоит в том, чтобы выделить термин, который лучше всего соответствует контексту запроса.

Существуют три стратегии устранения многозначности: по контексту запроса; по мерам подобия; с применением бинаправленного перевода. Рассмотрим подробнее стратегию устранения многозначности, основанную на применении мер подобия.

Техника устранения многозначности, основанная на анализе подобия (рис.2), состоит в осуществлении монопольного поиска для каждого термина входного запроса и для каждого из этих переводов на язык основного корпуса. Таким образом, каждый термин входного запроса дополняет список документов, начиная с части корпуса, представленной на входном языке. Также список документов на выходном языке дополняется каждым из переводов этого термина. Каждый из этих списков сравнивается со входным списком. Это сравнение основывается на таких мерах подобия, как лексикографический порядок и коэффициент соответствия Спирмена, которые позволяют обнаруживать список документов, наиболее близкий к входному списку. Это способствует выбору наилучшего перевода среди всех полученных.

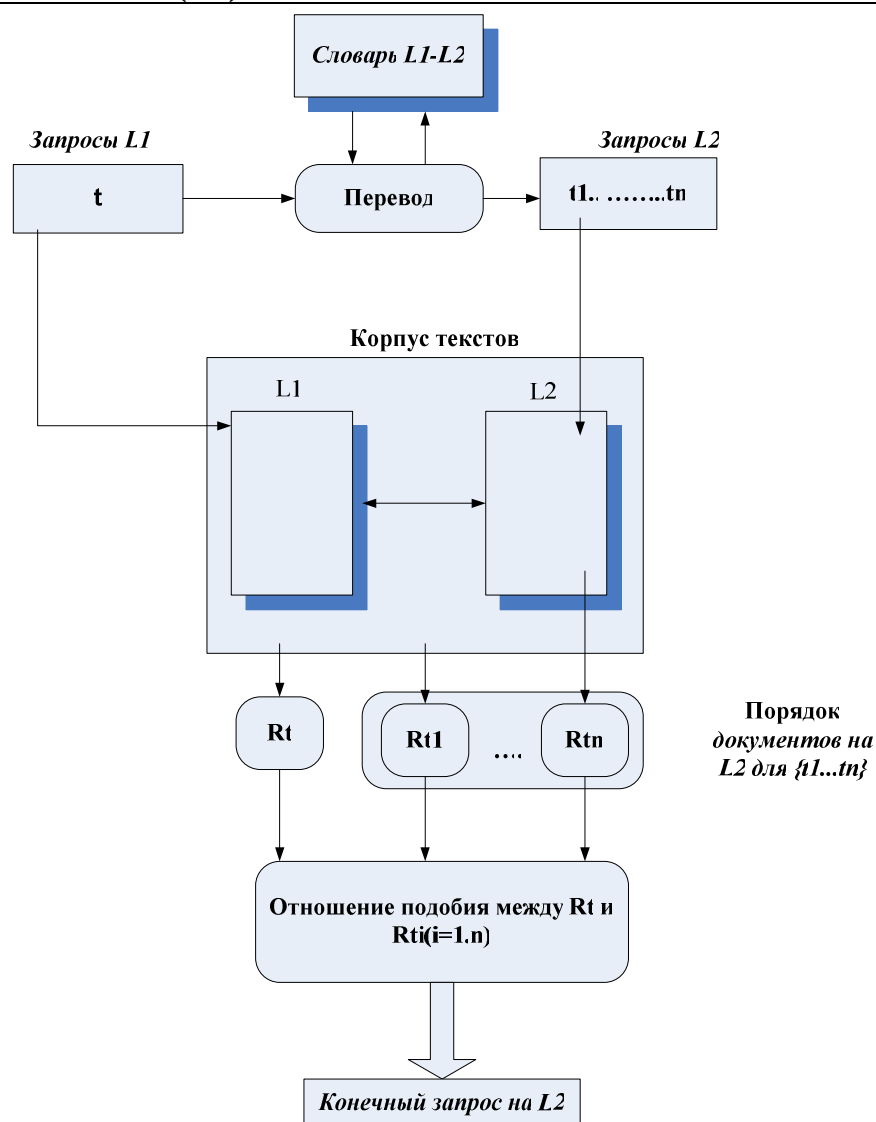


Рисунок 2 - Схема устранения неоднозначности запросов, основанная на анализе подобия

При этом важным является то, что применяемые меры подобия учитывают помимо степени соответствия документов их порядок в списке документов. Рассмотрим пример, иллюстрирующий предлагаемую стратегию.

Пример. Пусть $t_i^{L_1}$ – термин на языке L_1 входного запроса Q^{L_1} .

Пусть $\{t_1^{L_2}, t_2^{L_2}, t_3^{L_2}\}$ – три перевода на языке L_2 термина $t_i^{L_1}$.

Предположим, что у нас есть выровненный корпус, составленный из 20 документов, обозначенный как $D^{L_1} = \{d_1^{L_1}, \dots, d_{20}^{L_1}\}$ и $D^{L_2} = \{d_1^{L_2}, \dots, d_{20}^{L_2}\}$, а корпус $D_{t_i^{L_1}}$ (соответственно, корпус $D_{t_j^{L_2}}$) представляет документы, выбранные по термину $t_i^{L_1}$ (соответственно, по

термину $t_j^{L_2}$). Предположим также, что: $D_{t_i^{L_1}} = \{d_2^{L_1}, d_5^{L_1}, d_8^{L_1}, d_{10}^{L_1}, d_{20}^{L_1}\}$ – набор документов, выбранных для $t_i^{L_1}$ на языке L_1 ; $D_{t_1^{L_2}} = \{d_2^{L_2}, d_6^{L_2}, d_7^{L_2}, d_{10}^{L_2}, d_{12}^{L_2}\}$; $D_{t_2^{L_2}} = \{d_2^{L_2}, d_5^{L_2}, d_{13}^{L_2}, d_9^{L_2}, d_{11}^{L_2}\}$; $D_{t_3^{L_2}} = \{d_1^{L_2}, d_8^{L_2}, d_7^{L_2}, d_9^{L_2}, d_{12}^{L_2}\}$.

Эти совокупности уже предполагаются упорядоченными по значимости. Например, в $D_{t_i^{L_1}}$, $d_2^{L_1}$ рассматривается как наиболее существенный документ, а $d_{20}^{L_1}$ как наименее существенный документ (с точки зрения значимости для всей системы).

Отбор наиболее предпочтительных терминов, представляющих окончательный выходной запрос, осуществляется по следующей процедуре:

– изначально каждому документу в выровненном корпусе присваивается свой ранг. Этот ранг определяют, рассматривая степень значимости каждого документа в языке L_1 в соответствии с входным запросом. Наиболее существенному документу присваивают ранг 1, а наименее существенному ранг n . Число n представляет собой порог, который зависит от количества существенных документов в выровненном корпусе. Несущественный документ имеет ранг $K \geq N + 1$ (N – число документов в выровненном корпусе). Обозначим как $r(d_i^{L_1})$ ранг документов $d_i^{L_1}$. Для документов на языке L_2 положим просто, что $r(d_i^{L_2}) = r(d_i^{L_1})$.

В рассматриваемом примере мы имеем:

$$D_{t_i^{L_1}} = \{d_2^{L_1}, d_5^{L_1}, d_8^{L_1}, d_{10}^{L_1}, d_{20}^{L_1}\}; N = 20;$$

$$r(d_2^{L_1}) = 1, r(d_2^{L_2}) = 1; r(d_5^{L_1}) = 2, r(d_5^{L_2}) = 2;$$

$$r(d_8^{L_1}) = 3, r(d_8^{L_2}) = 3; r(d_{10}^{L_1}) = 4, r(d_{10}^{L_2}) = 4; r(d_{20}^{L_1}) = 5, r(d_{20}^{L_2}) = 5.$$

Для $d_i^{L_1} \notin D_{t_i^{L_1}}$ положим $r(d_i^{L_1}) = \alpha$, $\alpha > N$;

– для каждого перевода $t_j^{L_2} \in T^{L_2}(t_i^{L_1})$ выбираем n лучших документов $D_{t_j^{L_2}} = \{d_1^{L_2}, \dots, d_n^{L_2}\}$ на языке L_2 в выровненном корпусе. Эти документы упорядочиваются от более существенного к менее существенному. Далее переобозначим как $V_{j^{L_2}} = (r(d_1^{L_2}), \dots, r(d_n^{L_2}))$ результат

замены каждого $d_j^{L_2}$ его рангом $r(d_j^{L_2})$. После этой замены получаем:
 $V_{t_1^{L_2}} = (1, \alpha, \alpha, 4, \alpha)$; $V_{t_2^{L_2}} = (1, 2, \alpha, \alpha, \alpha)$; $V_{t_3^{L_2}} = (\alpha, 3, \alpha, \alpha, \alpha)$;

– на заключительном этапе определяем отношения подобия между каждым вектором $V_{t_j^{L_2}}$ и идеальным вектором $(1, 2, \dots, N)$, соответствующим начальному запросу. Если $V_{t_j^{L_2}}$ – наиболее близкий вектор, то $t_j^{L_2}$ будет определен как наилучший перевод рассматриваемого термина.

Для вычисления подобия между векторами переведенных документов и документов, полученных по начальному термину, используем две следующие меры подобия: лексикографический порядок (lexicographically ordering (LO)) и коэффициент корреляции Спирмена (rank correlation coefficient (RCC)).

Лексикографический порядок позволяет сравнивать порядки документов $D_{t_j^{L_2}}$, полученных различными переводами. При этом порядок $D_{t_1^{L_2}}$ предпочтительнее порядка $D_{t_2^{L_2}}$, если наиболее важный документ в $D_{t_1^{L_2}}$ имеет порядок меньше, чем наиболее важный документ в $D_{t_2^{L_2}}$. В случае их равенства сравниваются порядки вторых по важности документов и т.д.

Введем формальные определения лексикографического порядка терминов запроса.

Определение 1. Пусть $A = (a_1, \dots, a_n)$ и $B = (b_1, \dots, b_n)$ – два входных вектора. A лексикографически предпочтительнее, чем B , если $\exists k \leq n$, такой что:

$$a_k < b_k \text{ и } \forall j = 1, \dots, k-1, a_j = b_j.$$

Определение 2. Термин $t_1^{L_2}$ предпочтительнее термина $t_2^{L_2}$, если $V_{t_1^{L_2}}$ лексикографически предпочтительнее, чем $V_{t_2^{L_2}}$.

В рассматриваемом примере мы имеем: $Q^{L_1} = \{t_i^{L_1}\}$ и $T^{L_2}(t_i^{L_1}) = \{t_1^{L_2}, t_2^{L_2}, t_3^{L_2}\}$. Таким образом, $V_{t_1^{L_2}} = (1, 2, 3, 4, 5)$;
 $V_{t_1^{L_2}} = (1, \alpha, \alpha, 4, \alpha)$; $V_{t_2^{L_2}} = (1, 2, \alpha, \alpha, \alpha)$; $V_{t_3^{L_2}} = (\alpha, 3, \alpha, \alpha, \alpha)$;
 $V_{t_3^{L_2}} = (\alpha, 3, \alpha, \alpha, \alpha)$.

Очевидно, что $t_1^{L_2}$ лексикографически предпочтительнее, чем $t_3^{L_2}$, но $t_2^{L_2}$ лексикографически предпочтительнее, чем $t_1^{L_2}$ и $t_3^{L_2}$. Следовательно, конечная заявка будет состоять из $t_2^{L_2}$, $Q^{L_2} = \{t_2^{L_2}\}$.

Лексикографический порядок эффективен, если начальный порядок $D_{t_j^{L_1}} = \{d_1^{L_1}, \dots, d_n^{L_1}\}$ такой, что $d_i^{L_1}$ намного существеннее, чем $d_{i+1}^{L_1}$.

Отметим, что перевод, который позволяет обнаружить $d_1^{L_1}$ в первой позиции, предпочтительнее других переводов, где $d_1^{L_1}$ является наиболее важным документом. Этот подход не очень эффективен, если $d_1^{L_1}$, например, ненамного важнее, чем $d_2^{L_1}$. Чтобы устранить этот недостаток, важно уточнить процедуру классификации документов, имеющих одинаковую степень важности. Для этого нужно предварительно выделить документы, имеющие одинаковый ранг. Эта задача может быть решена с применением коэффициента корреляции Спирмена, используемого обычно в регрессионных методах. В отличие от лексикографического порядка, порядок коэффициентов корреляции использует полный порядок документов и рассматривает не только первый существенный документ.

Определение 3. Пусть $V_{t_j^{L_2}} = \{r(d_1^{L_2}), \dots, r(d_n^{L_2})\}$ – порядок документов, полученных с помощью $t_j^{L_2}$. Коэффициент корреляции Спирмена между $t_j^{L_2}$ и $t_i^{L_1}$ определится следующим образом:

$$\rho(t_j^{L_2}, t_i^{L_1}) = 1 - \frac{6 * \sum_{i=1}^n (r(d_j^{L_2}) - i)^2}{N^3 - N}.$$

Значение RCC повышается, если имеет место существенная зависимость между $V_{t_j^{L_2}}$ и $V_{t_i^{L_1}}$.

Определение 4. $t_1^{L_2}$ предпочтительнее, чем $t_2^{L_2}$ (по оценкам RCC), если $\rho(t_1^{L_2}, t_i^{L_1}) \geq \rho(t_2^{L_2}, t_i^{L_1})$. Конечным запросом при использовании RCC является $Q^{L_2} = \{t_i^{L_2} : t_j^{L_2} \in T^{L_2}(t_i^{L_1}), \exists t_j^{L_2} \in T^{L_2}(t_i^{L_1}), \rho(t_j^{L_2}, t_i^{L_1}) > \rho(t_i^{L_2}, t_i^{L_1})\}$. Отметим, что мера RCC применяется, как правило, для строгого порядка.

Определив в рассматриваемом примере коэффициенты РСС для каждого из переводов $t_1^{L_2} t_2^{L_2} t_3^{L_2}$ и каждого порядка документа, получим: $\rho(t_1^{L_2}, t_i^{L_1}) = -0.3$, $\rho(t_2^{L_2}, t_i^{L_1}) = 0.3$, $\rho(t_3^{L_2}, t_i^{L_1}) = -1.1$.

Так как $\rho(t_2^{L_2}, t_i^{L_1}) > \rho(t_1^{L_2}, t_i^{L_1}) > \rho(t_3^{L_2}, t_i^{L_1})$, то $t_2^{L_2}$ предпочтительнее, чем $t_1^{L_2}$ и $t_3^{L_2}$. Отсюда следует, что $Q^{L_2} = \{t_2^{L_2}\}$.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что важным этапом построения систем автоматизированного поиска мультязычной информации является применение процедуры уменьшения неоднозначности запросов, основанный на анализе мер подобия терминов и запросов. Рассмотренные в статье меры подобия (лексикографический порядок и коэффициент корреляции Спирмена) учитывают помимо степени соответствия документов их порядок в списке документов. В практических приложениях это может быть, в частности, использовано в задачах формирования дайджестов и тезаурусов. При проведении дальнейших исследований целесообразно усовершенствовать предложенный метод, дополнив его анализом контекста запросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. [Nassr 2002B] N. Nassr, S. Benferhat, M. Boughanem, C. Chrisment et H. Parde Disambiguation translation in multilingual queries IPMU 2002, The 9th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based System. 1-6 juillet Annecy pages : 200-207, 2002
2. [Nassr 2001C] M. Boughanem, C. Chrisment et N. Nassr Investigation on disambiguation in CLIR: aligned corpus and bi-directional translation based strategies In CLEF 2001 , lecture Notes in Computer Science 2069, Springer Verlag Darmstadt, 03-04 Septembre Germany. pages 87-92, 2001.

М.А. Алексеев, Е.И. Сироткина

ДИАГНОСТИКА И ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ SCADA СИСТЕМ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация. Рассматривается математическая модель работы подсистемы самодиагностики и автовосстановления сервера БД в составе сервера промышленной SCADA системы на примере графа состояний ПДВС. Диагностика работы сервера SCADA системы проводится с учетом текущей производительности сервера БД на основе мониторинга его характеристик для ресурсоемких запросов. Предлагается методика автоматического резервирования и автовосстановления сервера SCADA системы после необратимого отказа.

Ключевые слова: диагностика, отказоустойчивость, SCADA система, резервирование, автоматическое восстановление, граф состояний.

Постановка проблемы. Надежность работы SCADA системы ответственного назначения как аппаратно-программного комплекса – это свойство сохранения способности выполнять требуемые функции круглосуточно в режиме реального времени на протяжении всего периода эксплуатации.

Оценка надежности работы SCADA системы является интегральной величиной и зависит от многих факторов:

- оптимального выбора оборудования системообразующих узлов SCADA системы, сетевых коммуникаций, приемо-передающей аппаратуры, первичных преобразователей и т.д.;

- оптимального выбора программного обеспечения (ПО) SCADA системы, которое включает в себя базовое ПО для каждой из подсистем SCADA системы, в зависимости от выполняемых ими основных задач. К базовому ПО относятся операционная система, среда проектирования и разработки ПО, включая стандартные библиотеки функций, классов и компонентов данной среды разработки, сетевые службы, серверы баз данных (БД) и т.д.;

- технологии и методов организации работы коллектива системных интеграторов на протяжении всего жизненного цикла ПО и всей системы в целом.

Особого внимания при оценке надежности работы системы требует автоматическая диагностика работы исполняемых модулей ПО в режиме реального времени в процессе эксплуатации SCADA системы.

Анализ публикаций по теме исследований

Были рассмотрены методы повышения надежности и отказоустойчивости ПО промышленных SCADA систем на примере выполнения в автоматическом режиме диагностики, резервирования и восстановления БД в составе промышленной SCADA системы ответственного назначения, где одним из важных элементов системного ПО сервера промышленной SCADA системы является система управления базой данных (СУБД).

СУБД в составе сервера промышленной SCADA системы характеризуется интенсивным потоком данных и большими объемами обрабатываемых выборок данных. Системные отказы промышленного сервера могут приводить к значительным для всей SCADA системы последствиям, вплоть до разрушения БД и необратимого отказа [1] всей системы. Таким образом, надежность и отказоустойчивость таких СУБД напрямую зависит от организации сервисов диагностики, резервирования и восстановления баз данных. Обычно функции диагностики, резервирования и восстановления БД выполняются системным администратором БД в интерактивном режиме. При этом, как правило, работа некоторых подсистем промышленной SCADA системы, взаимодействующих с БД, приостанавливается, что в свою очередь ведет к потере актуальных данных и отсутствию полнофункционального диспетчерского мониторинга и управления. Для промышленных SCADA систем ответственного назначения такие служебные остановки сервера могут быть критичны.

Формулировка цели статьи

Целью работы является разработка методики автоматической диагностики, авторезервирования и автовосстановления сервера SCADA системы после необратимого отказа, приведшего к разрушению БД.

Параллельно с основной работой СУБД проводится автоматическая диагностика ее работы и автоматическое резервирование БД.

Одним из ранних методов обнаружения отклонений в работе СУБД является диагностика СУБД на основе мониторинга производительности сервера БД.

Приведем пример. Как известно [2, 3, 4], сервер БД параллельно с ведением самой БД формирует журнал транзакций. При интенсивном потоке данных, автоматически добавляемых в БД, что характерно для промышленных SCADA систем, быстро увеличивается размер журнала транзакций. При этом возникает обратно-пропорциональная зависимость между размером журнала транзакций и скоростью выполнения этих транзакций сервером БД, что в свою очередь тормозит запись потока данных в режиме реального времени и может приводить к значительному снижению производительности сервера SCADA системы.

Основная часть

Рассмотрим математическую модель работы подсистемы само-диагностики и автовосстановления сервера БД (ПДВС) в составе сервера промышленной SCADA системы на примере графа состояний ПДВС.

Определим состояния полного (full backup) и инкрементного (incremental backup) резервирования БД. Известно [2], что при инкрементном резервировании, в отличие от полного резервного копирования, последовательно создаются копии журналов транзакций, в которых прописаны изменения в БД с момента создания последней полной копии БД.

При отказе сервера БД, восстановление происходит путем выполнения команд, запротocolированных в резервируемых файлах журналов транзакций, причем необходимо последовательно, строго по дате и времени обрабатывать все инкрементные резервные копии. При полном резервировании происходит резервирование самого файла БД. Каждый из этих видов резервирования БД имеет свои преимущества и недостатки. Т.к. резервирование БД происходит в фоновом режиме параллельно с транзакциями, то инкрементное резервирование является более ресурсосберегающим процессом, чем полное резервирование. Однако, при необходимости восстановления сервера БД после необратимого отказа, более ресурсосберегающим процессом является восстановление из состояния полного резервирования.

На рисунке 1 приведен граф состояний ПДВС.

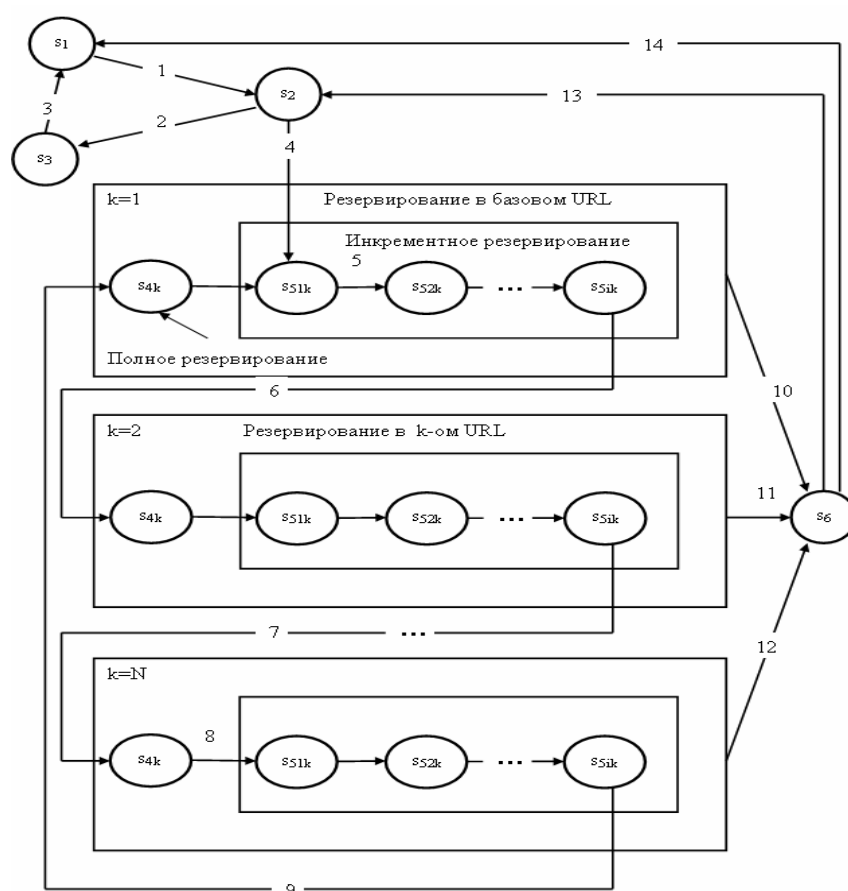


Рисунок 1 - Граф состояний ПДВС

Описание некоторых состояний графа приведено в таблице 1.

Таблица 1

Состояния графа ПДВС

№ п/п	Состояние	Описание
1	s1	СУБД отсутствует
2	s2	работоспособное состояние сервера БД, резервирования нет
3	s3	отказ сервера БД, резервирования нет
4	s4k	работоспособное состояние сервера БД после полного резервирования БД для k-го URL
5	s5ik	работоспособное состояние сервера БД после i-го инкрементного резервирования для k-го URL
6	s6	отказ сервера БД, резервирование есть

Переходы графа ПДВС характеризуют соответственно создание БД, отказ сервера БД. инкрементное и полное резервирование в базо-

вом и k -ом URL, успешное и неудачное автоматическое восстановление сервера БД после отказа. Резервирование происходит по методу заполнения кольцевого буфера.

К основным параметрам математической модели ПДВС относятся:

- размер БД на момент времени t – $Sd(t)$, байт;
- размер журнала транзакций на момент времени t – $Sl(t)$, байт;
- изменение размера БД за период времени Δt – $\Delta Sd(\Delta t)$, байт;
- изменение журнала транзакций за период времени Δt – $\Delta Sl(\Delta t)$, байт;
- размер полной резервной копии на момент времени t – $Sbf(t)$, байт;
- размер единичной инкрементной резервной копии на момент времени t – $Sbi(t)$, байт;
- длительность полного резервирования для k -ого URL – Tbf_k , сек;
- длительность i -го единичного инкрементного резервирования для k -ого URL – Tbi_{ki} , сек;
- количество инкрементных резервных копий в k -ом URL – m_k ;
- количество URL для резервирования и восстановления БД – N ;
- период времени между созданием двух соседних резервных копий в k -ом URL – τb_k , сек;
- период времени на восстановление СУБД после отказа в k -ом URL – τ , сек;
- период времени на восстановление СУБД после отказа с использованием полного резервирования в k -ом URL – τf_k , сек;
- период времени на восстановление СУБД после отказа с использованием инкрементного резервирования в k -ом URL – τi_k , сек;
- дата и время обнаружения отказа сервера БД – Tfl (fault location time);
- время реакции сервера на запись блока данных в БД – $trsw$ (server response time on write);
- время реакции сервера на выборку данных из БД – $trsr$ (server response time on read).

Временная диаграмма резервирования и восстановления БД приведена на рисунке 2.

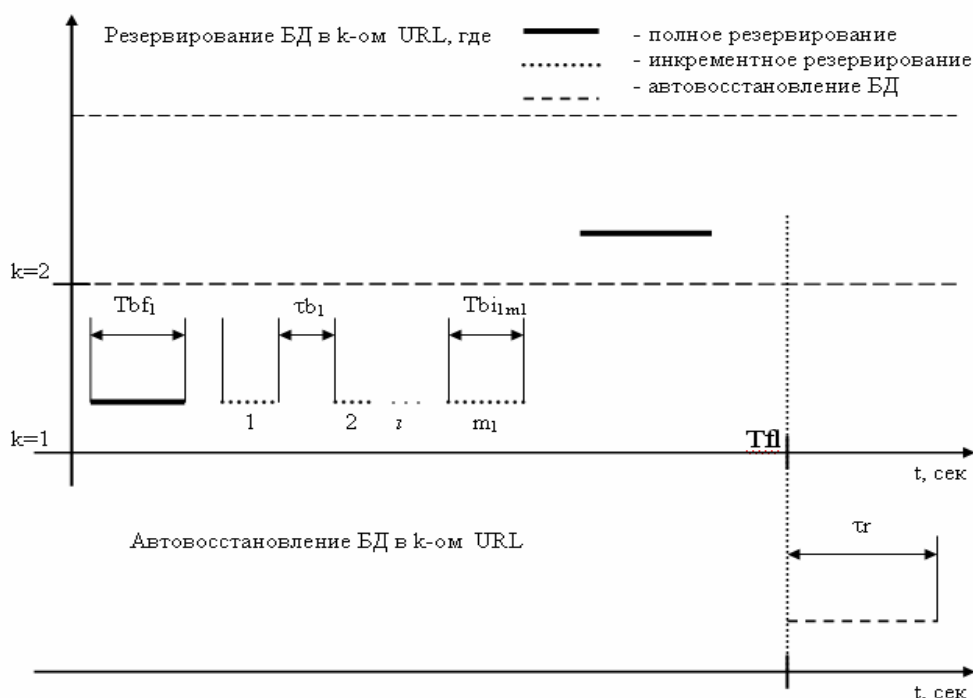


Рисунок 2 - Временная диаграмма резервирования и автовосстановления БД

По интенсивности потока записываемых данных для промышленной SCADA системы ответственного назначения и принятому регламенту сохранения актуальных данных в БД рассчитывается и экспериментально проверяется скорость изменения размера БД

$$vd(t) = \frac{\partial Sd}{\partial t} \quad (1)$$

и скорость изменения размера журнала транзакций

$$vl(t) = \frac{\partial Sl}{\partial t} \quad (2)$$

Определяем время реакции сервера БД на запись и выборку наборов данных различной длины L , в зависимости от начальных размеров БД и журнала транзакций, а также скорости их изменения.

$$t_{rsw} = f(L, Sd_0, Sl_0, vd, vl) \quad (3)$$

Определяем максимальные значения Sd_{max} , Sl_{max} , vd_{max} , vl_{max} для выборки длины L , не приводящие к значительному отклонению времени реакции сервера БД

$$\Delta t_{rsw} \leq \xi \quad (4)$$

Определяем зависимость времени автоматического восстановления БД после отказа, как

$$\tau_{rf} = \phi_1(Sbf_k) \quad (5)$$

$$\tau_{ri} = \phi_2\left(\sum_{i=1}^{m_k} Sbi_{ki}, \tau b_1\right) \quad (6)$$

Для задаваемых пределов значений $Sd, Sl, vd, vl, L, t_{rsu}, \tau_{rf}, t_{ri}$ необходимо найти такие $\tau b_1, m_k$, которые позволили бы максимально экономить время и машинные ресурсы сервера SCADA системы как на резервирование, так и на восстановление БД при минимальных потерях данных во время отказа системы и заданном объеме свободного дискового пространства для резервирования и восстановления СУБД в k -ом URL.

На сегодняшний день существует много различных инструментальных средств мониторинга производительности SQL серверов. В качестве примера приведем результат использования MS SQL Server Activity Monitor. Данное ПО выводит информацию о ресурсах, находящихся в состоянии ожидания (см. рисунок 3), время отклика и исполнения файловых операций ввода/вывода данных (см. рисунок 4), характеристики по производительности машинных ресурсов при исполнении последних ресурсоемких запросов (см. рисунок 5).

Resource Waits				
Wait Category	Wait Time [ms/sec]	Recent Wait Time	Average Waiter Count	Cumulative Wait Time [sec]
Buffer I/O	1267	2307	1.9	35480
Latch	185	144	0.4	154
Logging	28	35	0.0	789
Network I/O	11	9	0.0	3658
Other	0	0	0.0	6
Memory	0	0	0.0	0
Lock	0	0	0.0	297
Buffer Latch	0	0	0.0	8
Compilation	0	0	0.0	0
Backup	0	0	0.0	38451

Рисунок 3 - Панель ресурсов ожидания

Data File I/O				
Database	File Name	MB/sec Read	MB/sec Written	Response Time [ms]
msdb	C:\ProgramFiles\Microsoft SQL ...	0.0	0.0	154
tempdb	C:\ProgramFiles\Microsoft SQL ...	73.9	0.0	122
energydb	C:\ProgramFiles\Microsoft SQL ...	0.0	18.4	106

Рисунок 4 - Панель файловых операций ввода/вывода данных

Recent Expensive Queries						
Query	Executions/min	CPU (ms/sec)	Physical Reads/sec	Logical Writes/sec	Logical Reads/sec	Average Duration (ms)
SELECT ...	12 044	15	0	3	1260	1
SELECT ...	5680	13	0	0	479	0
SELECT ...	1496	5	0	0	255	0

Рисунок 5 - Панель последнего ресурсоемкого запроса

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Использование аналитических, численных и экспериментальных методов моделирования работы промышленного сервера SCADA системы, диагностика его работоспособности и производительности во время и после резервирования БД показали, что автоматическое восстановление БД после необратимого отказа, приводящего к разрушению БД, возможно не менее чем в 80% случаев таких отказов. При этом, применение автовосстановления после отказа в сотни раз сокращает время восстановления работоспособности системы без влияния человеческого фактора. В качестве перспективных исследований может быть рекомендована разработка методики полного автоматического восстановления работоспособности системообразующего узла SCADA системы ответственного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Военный энциклопедический словарь ракетных войск стратегического назначения / [Военная академия РКВН имени Петра Великого]. — М.: Научн. изд-во «Большая Российская энциклопедия», 1999. — 634 с., ISBN 5-85270-315-X
2. Sybase SQL Anywhere. A System 11 Server Product. User's Guide. Sybase Inc., 1995. — 1165p., ISBN 1-55094-110-0
3. Брайан Хичкок. Sybase. Настольная книга администратора./ Хичкок Б. — М. : Издательство «Лори», 2000. — 420с.
4. К. Дейт. Введение в системы баз данных, 6-е издание:Пер.с.англ./Дейт К.К.,М.,СПб.:Издательский дом «Вильямс»,2000. -848с.
5. Канер Сэм. Тестирование программного обеспечения. Пер. с англ./ Канер С., Фолк Д., Нгуен Е. — К.: Издательство «ДиаСофт», 2000. — 544с.
6. SCADA – системы: взгляд изнутри / Андреев Е.Б., Куцевич Н.А., Синенко О.В. — М.: Издательство «РТСофт», 2004. — 176с.
7. Ricky W. Butler. A Primer on Architectural Level Fault Tolerance. / Butler R. — National Aeronautics and Space Administration. — Langley Research Center, Hampton, Virginia. — 23681-2199. — 2008. — 53p.
8. Гнеденко Б.В. Математические методы в теории надежности. (Серия: «Физико-математическая библиотека инженера»). / Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1965. — 524 с.

Н.Б. Андрейшина

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РІВНОВАЖНОЇ ЦІНИ ВІД ВПЛИВУ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

Анотація. В роботі будується математична модель, в якій попит і пропозиція розглядаються як функції, залежні від ціни товару та зміни її формування; отримано диференціальне рівняння рівноваги попиту та пропозиції, та проведений аналіз його стійкості в залежності від коефіцієнта, який характеризує вплив зовнішніх факторів.

Ключові слова. Рівноважна ціна, попит, пропозиція, динаміка, прибуток, витрати, ефективність.

Вступ

В ринкових умовах важливішими елементами економіки є попит і пропозиція, а також ціна, яка виконує функцію їх урівноваження. Теоретичні основи формування сукупного попиту, сутність та фактори розвитку сукупної пропозиції, а також питання рівноваги та наслідки її порушення – головні проблеми сьогодення України, від якості вирішення яких залежать темпи і пропорції розвитку, становлення держави і заможність її населення [1]. Комерційний успіх будь-якого підприємства або підприємця багато в чому залежить від обраної стратегії і тактики ціноутворення на товари та послуги. Складність ціноутворення є в тому, що ціна – категорія вартісна і кон'юнктурна. На її рівень суттєво впливає цілий комплекс політичних, економічних, психологічних, географічних та соціальних факторів [2].

Дж. Б. Еванс, В. Берман виділили п'ять основних чинників, що роблять найбільший вплив на процес ціноутворення: споживачі, уряд, учасники каналів збуту, конкуренти, витрати виробництва. Всі ці фактори можна умовно розділити на дві основні категорії - внутрішні і зовнішні. До основних внутрішніх факторів, що визначають рівень цін товаровиробників, відносяться: рівень витрат виробництва, особливості виробничого процесу, специфіка виробленої продукції, доступність необхідних для виробництва ресурсів, організаційний рі-

вень, ступінь використання прогресивних методів виробництва, ринкова стратегія і тактика виробника. Основні зовнішні фактори, що впливають на процес ціноутворення на товар конкретного виробника: споживчі переваги щодо даного товару, рівень доходів покупців, споживчі очікування щодо майбутньої зміни цін і власних доходів виробника, ціни на взаємозамінні, взаємодоповнюючі товари, поведінка конкурентів та ін. Фактори зовнішнього порядку практично не підвладні контролю з боку товаровиробників, але обов'язково враховуються при формуванні ціни на продукцію, що випускається [3].

Саме сукупний вплив зовнішніх факторів спробуємо дослідити в даній роботі. Розглядати попит і пропозицію лише як функції від значення ціни є мало інформативним з погляду динаміки. Наприклад, допустима ситуація, коли положення динаміки з малим значенням ціни і позитивним показником її зміни вигідніше чим випадок, коли значення ціни в даний момент часу є чималим, а її зміни є від'ємною.

Побудова математичної моделі та її аналіз

Попит D і пропозицію S можна розглядати як математичні функції ціни p і зміни її формування $q = \frac{dp}{dt}$ [4]. Однак, зрозуміло, що попит та пропозиція залежать від цілої множини інших економічних величин, наприклад, величини $r = \frac{d^2p}{dt^2}$ – зміни формування величини q . Отже, такий підхід є задовільним лише для певного класу економічних систем.

Розглянемо далі випадок, припускаючи

$$D = D(p, q, r) \text{ і } S = S(p, q, r).$$

Тоді, щоб попит збігався із пропозицією, і тим самим були реалізовані оптимальні умови, ціна на товар не може бути довільною. Для визначення рівноважної ціни, як функції часу одержуємо диференціальне рівняння

$$D(p, q, r) = S(p, q, r). \quad (1)$$

Нехай попит та пропозиція задані як деякі масиви:

$$D = D(d_1, d_2, \dots, d_n), \quad S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$$

де d_i й s_i значення попиту та пропозиції в заданому проміжку часу.

Будемо апроксимувати ці масиви лінійними формами:

$$D = a_1 p + b_1 q + c_1 r, \quad S = a_2 p + b_2 q + c_2 r. \quad (2)$$

Для знаходження коефіцієнтів скористаємося методом найменших квадратів:

$$\sum_{i=1}^n (a_1 p_i + b_1 q_i + c_1 r_i - d_i)^2 \rightarrow \min; \quad \sum_{i=1}^n (a_2 p_i + b_2 q_i + c_2 r_i - s_i)^2 \rightarrow \min,$$

де p_i - ціна товару в i -й період часу; $q_i = \frac{p_i - p_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$ - зміна ціни в i -й період

часу; $r_i = \frac{q_i - q_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}$ - тенденції зміни формування ціни в i -й період

часу;

Грунтуючись на (1) одержуємо диференціальне рівняння:

$$a_1 p + b_1 \frac{dp}{dt} + c_1 \frac{d^2 p}{dt^2} = a_2 p + b_2 \frac{dp}{dt} + c_2 \frac{d^2 p}{dt^2}, \quad (3)$$

або

$$\frac{d^2 p}{d\tau^2} + 2\delta \frac{dp}{d\tau} + p = 0, \quad (4)$$

де покладено $\tau = \sqrt{\frac{a_1 - a_2}{c_1 - c_2}} \cdot t$, $2\delta = \frac{b_1 - b_2}{\sqrt{(a_1 - a_2)(c_1 - c_2)}}$.

Якщо проводити аналогії з механікою то (4), це рівняння лінійного дисипативного осцилятора, в якому δ виступає в якості коефіцієнта тертя, тобто коефіцієнту впливу зовнішнього середовища [5]. З економічної точки зору коефіцієнт δ можна розглядати, як коефіцієнт впливу зовнішніх факторів на ціну p . Ними можуть виступати, наприклад, тип ринку, економічна ситуація в країні, рівень інфляції, державне регулювання та ін..

Проведемо аналіз динаміки еволюції рівноважної ціни при нульовому коефіцієнті δ .

Якщо перейти до фазових координат в рівнянні (4), покладаючи $x_1 = p$, $x_2 = \frac{dp}{d\tau}$, одержимо динамічну систему

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{d\tau} = x_2, \\ \frac{dx_2}{d\tau} = -x_1 - 2\delta \cdot x_2, \end{cases}$$

або при $\delta=0$

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{d\tau} = x_2, \\ \frac{dx_2}{d\tau} = -x_1 \end{cases} \quad (5)$$

Для аналізу системи перейдемо до полярної системою координат, покладаючи $x_1 = \rho \cos \phi$ і $x_2 = \rho \sin \phi$. Тоді

$$\frac{dx_1}{d\tau} = \frac{d\rho}{d\tau} \cos \phi - \rho \sin \phi \frac{d\phi}{d\tau}, \quad \frac{dx_2}{d\tau} = \frac{d\rho}{d\tau} \sin \phi + \rho \cos \phi \frac{d\phi}{d\tau},$$

та з (5) отримаємо

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{d\tau} \cos \phi - \rho \sin \phi \frac{d\phi}{d\tau} = \rho \sin \phi, \\ \frac{d\rho}{d\tau} \sin \phi + \rho \cos \phi \frac{d\phi}{d\tau} = -\rho \cos \phi, \end{cases}$$

звідки провівши перетворення отримаємо:

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{d\tau} = 0, \\ \frac{d\phi}{d\tau} = -1 \end{cases} \quad (6)$$

Із системи (6) слідує, що її фазовий портрет являє собою сімейство концентричних кіл із центром на початку координат. Точка у фазовому просторі, у якій вектор фазової швидкості обертається в нуль, називається особливою, і в цьому випадку нуль координат є особлива точка типу центр.

В (6) у часі еволюціонує лише одна змінна ϕ , тому фазовий простір розглянутого рівняння при $\delta=0$, є одновимірним.

З економічної точки зору ситуація, в якій $\delta=0$, є ідеальною, тобто зовнішнього впливу на ціну не має.

Проведемо аналіз динаміки еволюції ціни при ненульовому коефіцієнті δ . Для $0 < \delta < 1$ розв'язком рівняння (4) є

$$p(\tau) = A e^{-\delta\tau} \cos(\omega\tau + \psi), \quad \omega = (1 - \delta^2)^{1/2}, \quad (7)$$

де A та ψ – довільні константи, які визначаються початковими умовами.

На фазовій площині для будь-яких початкових даних мають місце спіралі, які скручуються, та наближаються до початку координат. Нуль координат є особливою точкою системи, що у випадку $\delta < 1$ є стійким фокусом (рис. 1а).

Якщо коефіцієнт $\delta > 1$ отримаємо такий розв'язок рівняння (4):

$$\begin{cases} p(\tau) = C_1 e^{\lambda_1 \tau} + C_2 e^{\lambda_2 \tau}, \\ \lambda_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - 1} \end{cases}$$

де C_1, C_2 – константи.

Фазові траєкторії виглядають, як сімейство кривих, за якими, як і у попередньому випадку, фазові точки прагнуть до початку координат (рис. 1б). Особлива точка в зазначених умовах є стійким вузлом.

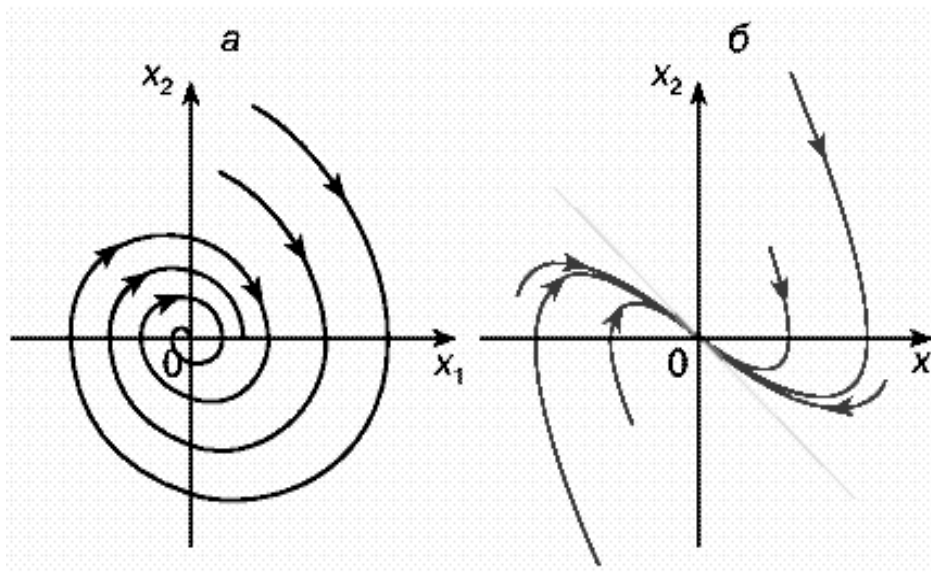


Рисунок 1 - Фазовий портрет рівняння (4) з параметром $\delta < 1$ (а), і $\delta > 1$ (б)

Отже, при будь-яких значеннях параметрів системи, коли $\delta > 0$, дисипативна система (4) характеризується єдиним глобально стійким станом рівноваги в нулі фазових координат. Незалежно від вибору початкових умов спостерігається загасаючий коливальний або аперіодичний рух ціни. При $\tau \rightarrow \infty$ будь-яка фазова точка, прагне до початку координат у стійкий фокус або вузол. Описана властивість є загальною для динамічних систем з повною дисипацією енергії. Положення рівноваги типу стійкого фокуса або вузла є тут глобально притягаючими у тому розумінні, що фазові траєкторії з будь-якої точки фазового простору асимптотично до них прагнуть, тобто через досить великий проміжок часу ціна наблизиться до рівноважної ціни.

Числовий експеримент

Розглянемо діяльність конкретного торгового підприємства що займається продажем будівельних матеріалів. У таблиці 1 приведені

дані про ціну товару, кількість проданого товару і залишок товару на кінець місяця.

Таблиця 1

Вихідна інформація

Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ціна товару, (р) грн	1,14	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,09	1,11	1,15	1,16	1,14	1,15
К-ть проданого	112	89	102,5	98	85,5	120	111,5	102	108	97	105,5	98,5
Залишок на кінець	205	156	234	127	146	118	104	116	104	117	108	110

Пропозиція формується як сума проданого товару, і товару, що залишився. Застосовуючи метод найменших квадратів, визначимо коефіцієнти a_i , b_i , c_i .

$$a_1 = 93.243, b_1 = 30.33, c_1 = 60.775, a_2 = 218.417, b_2 = -1162.033, c_2 = 936.67$$

Отримаємо систему диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{d\tau} = x_2, \\ \frac{dx_2}{d\tau} = -x_1 - 3.602 x_2, \end{cases} \quad (8)$$

де $\tau = 0.378 t$.

Початкові умови:

$$x_1(0) = p_0, \quad x_2(0) = 0$$

Так як $\delta > 1$, то особлива точка – стійкий вузол (рис.3).

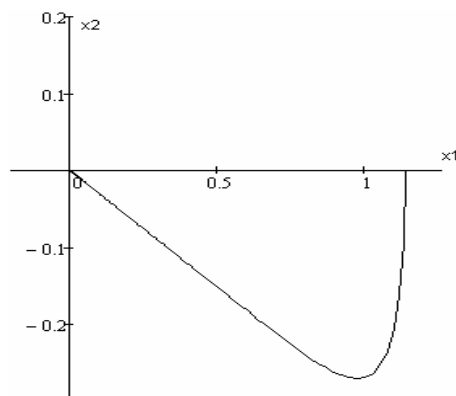


Рисунок 2 - Фазовий портрет системи (8)

Розв'язок системи (8) має вид:

$$p(t) = 1.255e^{-0.303t} - 0.115e^{-3.299t}$$

Висновки

Проведені дослідження дають можливість зробити висновок, що сукупний вплив зовнішніх факторів, таких як, політична стабільність, регулювання економіки державою, рівень інфляції, наявність та рівень конкуренції, впливають на рівноважну ціну. Побудована математична модель рівноваги попиту та пропозиції, в якій попит і пропозиція розглядаються як функції ціни, її зміни q та зміни величини q дає можливість досліджувати вплив цих факторів. З аналізу диференціального рівняння для знаходження рівноважної ціни отримано, що при будь-яких значеннях параметрів рівняння, дисипативна система (4) характеризується єдиним глобально стійким станом рівноваги в нулі фазових координат. При цьому незалежно від вибору початкових умов спостерігається загасаючий коливальний або аперіодичний рух ціни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дідур С.В. Регулювання попиту і пропозиції на макрорівні: Монографія. – К.: Наук. світ, 2005. – 319 с.
2. Иваниенко В.В., Чечетов М.В. Ценообразование. – Харьков, ИД «ИНЖЕК», 2004. – 221 с.
3. Эванс Дж.Р., Берман Б. Маркетинг. Пер. с англ. — М: Сирин, 2002 г., 308 с.
4. Андрейшина Н.Б., Гоцуленко В.В. Повышение эффективности деятельности торгового предприятия оптимальным выбором цены как функции времени // Вестник Национального технического университета "ХПИ". 2006. № 39. - С. 81-85.
5. Ловецкий К.П., Севастьянов Л.А. Математическое моделирование. Часть 1: Осциллятор. – М.: РУДН – 2007, 64 с.

А.В. Дегтярев

КРИТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ СЕЙСМОВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Аннотация. Изложены методика и программа расчета нагрузок на элементы упругой конструкции летательного аппарата, содержащего жидкое наполнение топливных баков, при сейсмовзрывном воздействии.

Ключевые слова: Внешнее воздействие, шахтное сооружение, система амортизации, контейнер, ракета и ее элементы.

Ракета в транспортно – пусковом контейнере (ТПК), находящаяся в шахтной пусковой установке (ШПУ), испытывает действие осевых и поперечных перегрузок вследствие ускорения сооружения, вызванного сейсмовзрывным воздействием [1,2]. Для снижения величин ускорений, действующих на элементы конструкции ракеты, используют специальные системы амортизации (СА), включающие в себя демпфирующие и упругие элементы.

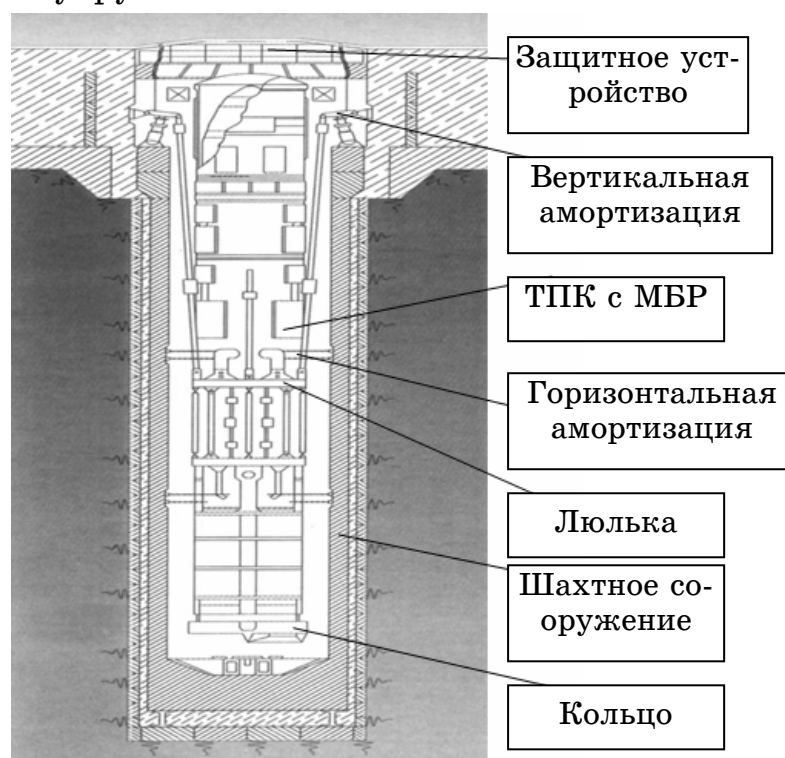


Рисунок 1 - Схема системы амортизации маятникового типа

На этапах модернизации требования к точности расчетов значительно возрастают, поскольку тенденция к увеличению интенсивности внешних воздействий, действующих на систему, делает необходимым повышение величины стойкости ШПУ. Следовательно, приобретает важное значение учет таких факторов как упругость элементов конструкции ракеты, ТПК и СА, подвижность компонентов топлива в баках ракеты, инерционность элементов СА, наличие сил трения в элементах системы и др.

Найти решение указанной задачи можно посредством введения некоторых допущений для приведения системы с бесконечным числом степеней свободы к системе с ограниченным числом степеней свободы, описываемых конечным числом обыкновенных дифференциальных уравнений.

При составлении расчетной схемы учитывалось следующее [1,5]:

- воздействие считается кинематическим;
- движение происходит в плоскости действия взрыва;
- при расчете параметров нагрузок учитывается кратность воздействия;
- упругость корпусов ракеты, контейнера, каркаса и тяг вертикальной системы амортизации;
- подвижность жидкости в топливных баках ракеты;
- наличие упругих связей между ракетой и ТПК;
- связи между ТПК и каркасом СА;
- нелинейность упругих и демпфирующих элементов системы амортизации

При составлении динамической расчетной схемы, используемой для расчета нагрузок, представляется удобным разделить АО на элементы (отдельные отсеки, сосредоточенные грузы и т.д.) так, чтобы каждый элемент мог быть изучен отдельно и представлен в виде простой упруго-массовой модели, затем из этих элементов составлена полная расчетная модель. Отдельные грузы, имитирующие те или иные отсеки и узлы, обладают массами, моментами инерции и связаны между собой связями. Связи могут быть линейными и нелинейными. Решение задачи определения нагрузок с использованием дискретно-массовых моделей называют методом сосредоточенных параметров [1,5], согласно которому элементы конструкции ракеты, ТПК

и СА с распределенной массой и жесткостью заменяются системой сосредоточенных масс, связанных между собой с помощью невесомых пружин, имитирующих жесткость элементов системы соответствующего участка. Жесткость элементов корпуса, имитируемая невесомыми пружинами, относится к соответствующим сосредоточенным массам. К этим же массам приложены внешние силы [1,5].

Движение каждой массы описывается уравнениями вида:

$$m_n \ddot{x}_n - c_{n+1}(x_{n+1} - x_n) + c_n(x_n - x_{n-1}) = f_n(t), \quad (1)$$

где m_n - масса участка;

c_n - обобщенная жесткость упругой связи;

x_n - абсолютное перемещение n-й массы;

$f_n(t)$ - внешняя сила, приложенная к n-й массе.

При построении моделей элементов системы изгибная и продольная жесткости выбираются в соответствии с жесткостями конструкции, т.е. ракета, контейнер и элементы СА имитируются с такой точностью, как это позволяют сделать используемые стержневые и балочные элементы.

Продольная и изгибная жесткости элементов корпусов ракеты, ТПК и СА, относящиеся к соответствующим сосредоточенным массам, определяются по формулам:

$$C_n = \frac{E_n F_n}{l_n} \quad (2)$$

$$C_{\phi n} = \frac{E_n I_n}{l_n} \quad (3)$$

В выражения (2-3) входят:

E_n - модуль упругости материала;

F_n - площадь поперечного сечения рассматриваемого элемента;

I_n - момент инерции поперечного сечения элемента;

l_n - длина рассматриваемого элемента конструкции.

Колебания корпуса ракеты сопровождаются колебаниями жидкого топлива в его баках. Для учета колебаний жидкости в баках ракеты при действии внешних нагрузок может быть использован метод сосредоточенных параметров.

В качестве механического аналога продольных колебаний жидкости в баке ракеты используется система параллельных осциллято-

ров, расположенных в местах крепления опорного шпангоута, передающего усилия от бака с жидкостью на корпус ракеты [3].

В случае поперечных колебаний жидкости в баке ракеты обычно принимают, что уравнения колебаний свободной поверхности жидкости аналогичны уравнениям колебаний математических маятников [4].

В соответствии с принятой расчетной схемой ракета описана двадцатью восемью массами, из которых восемнадцать масс - корпус, четыре - жидкое наполнение топливных баков, две - двигательные установки, четыре - маятники-жидкости. ТПК представлен шестнадцатью массами, люлька с каркасом восемью - массами, тяги маятниковой подвески СА - шестьюдесятью четырьмя массами. Всего рассматриваемая механическая система имеет сто двадцать девять степеней свободы. Расчетная схема показана на рис. 2.

Движение ракеты, ТПК, люльки и элементов СА в шахтном сооружении рассматривается в системе координат XOY . Начало системы координат совпадает с нижним кольцом системы амортизации. Ось X направлена вертикально вверх и совпадает с продольной осью ракеты, ось Y составляет с осью X правую систему координат, положительное направление угла φ принято по часовой стрелке.

В качестве обобщенных координат приняты следующие величины:

- X_i – перемещение i -й массы корпуса ракеты вдоль продольной оси;

- Y_i – горизонтальное перемещение i -й массы корпуса ракеты, обусловленное относительным поворотом звеньев цепочки масс ракеты (деформация изгиба) ;

- X_k, Y_k - перемещение k -й массы контейнера в вертикальном и горизонтальном направлениях, соответственно;

- X_c, Y_c - перемещение c -й массы стакана в вертикальном и горизонтальном направлениях, соответственно;

- $X_{jж}$ – вертикальное перемещение j -й массы, имитирующей j -е жидкое наполнение баков ракеты вдоль продольной оси;

- X_d – вертикальное перемещение d -й массы упруго подвешенного элемента ракеты вдоль продольной оси;

- Θ_j – координата (угол), описывающая движение j -го маятника-жидкости в горизонтальном направлении;

- X_{th} , Y_{th} - перемещение t -й массы h -й тяги в вертикальном и горизонтальном направлениях, соответственно;

- X_c, Y_c, ϕ_c - координаты, описывающие движение кольца СА;

- w, z -перемещения шахтного сооружения.

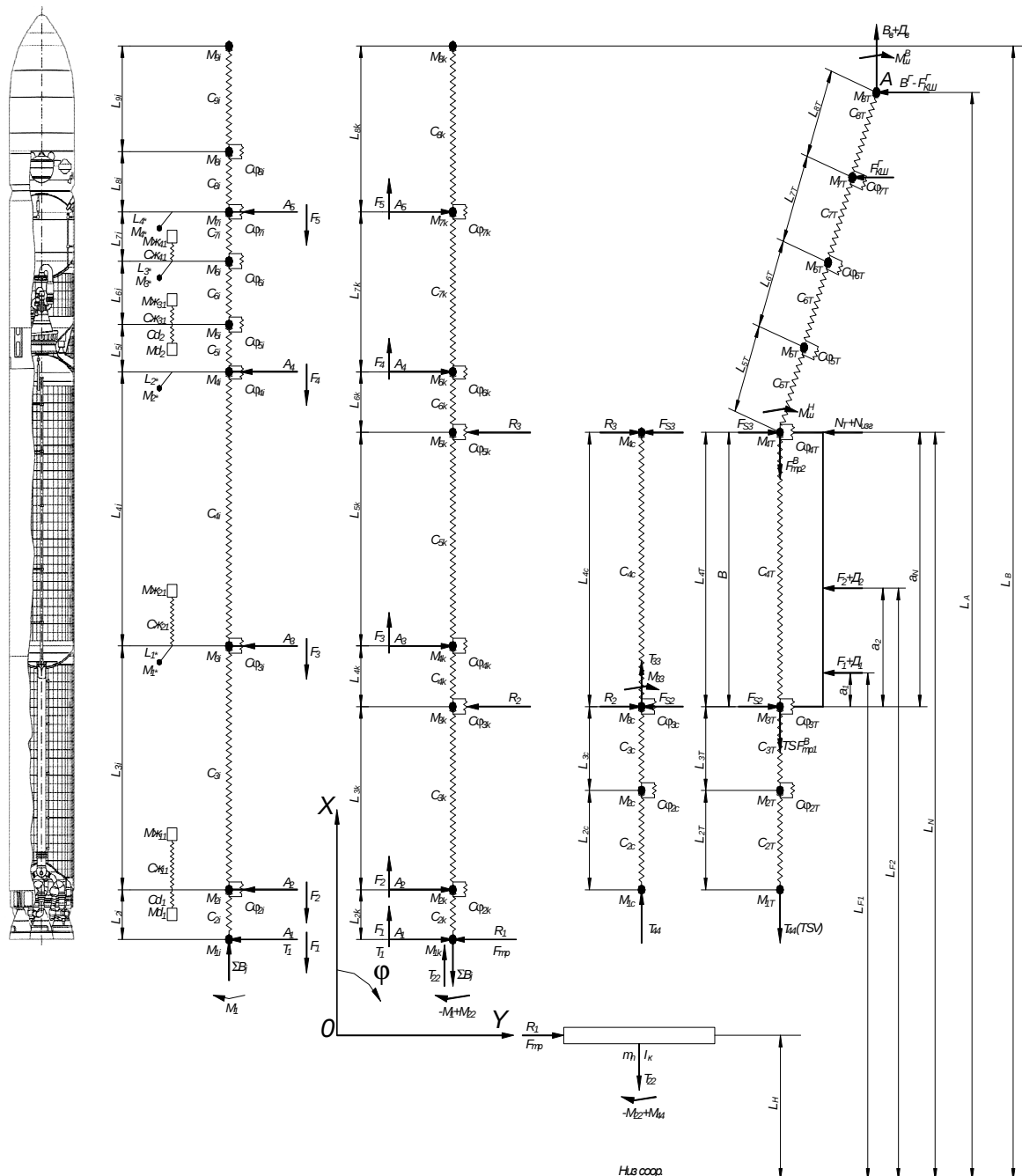


Рисунок 2 - Расчетная схема упругой амортизированной системы

Уравнения движения произвольной i -й массы корпуса ракеты, ТПК, стакана и тяг СА имеют вид:

$$m_{n,i}^v \ddot{x}_{n,i} = (C_{n+1,i} \Delta_{n+1,i} + C_{n+1,i}^1 \dot{\Delta}_{n+1,i}) \alpha_{n+1,i} - (C_{n,i} \Delta_{n,i} + C_{n,i}^1 \dot{\Delta}_{n,i}) \alpha_{n,i} +$$

$$(C_{\phi_{n+1,i}} \Delta \phi_{n+1,i} + C_{\phi_{n+1,i}}^1 \dot{\Delta} \phi_{n+1,i}) \gamma_{n+1,i} - (C_{\phi_{n,i}} \Delta \phi_{n,i} + C_{\phi_{n,i}}^1 \dot{\Delta} \phi_{n,i}) (\gamma_{n+1,i} + \gamma_{n,i}) +$$

$$(C\phi_{n-1,i}\Delta\phi_{n-1,i} + C\phi_{n-1,i}^1\dot{\Delta}\phi_{n-1,i})\gamma_{n-1,i} - m_{n,i}g; \quad (4)$$

$$m_{n,i}^g\ddot{y}_{n,i} = (C_{n+1,i}\Delta_{n+1,i} + C_{n+1,i}^1\dot{\Delta}_{n+1,i})\beta_{n+1,i} - (C_{n,i}\Delta_{n,i} + C_{n,i}^1\dot{\Delta}_{n,i})\beta_{n,i} - \\ (C\phi_{n+1,i}\Delta\phi_{n+1,i} + C\phi_{n+1,i}^1\dot{\Delta}\phi_{n+1,i})\delta_{n+1,i} + (C\phi_{n,i}\Delta\phi_{n,i} + C\phi_{n,i}^1\dot{\Delta}\phi_{n,i})(\delta_{n+1,i} + \delta_{n,i}) - \\ (C\phi_{n-1,i}\Delta\phi_{n-1,i} + C\phi_{n-1,i}^1\dot{\Delta}\phi_{n-1,i})\delta_{n-1,i}; \quad (5)$$

m_i^v, m_i^g – соответственно массы корпуса ракеты, ТПК, стакана и тяг СА при движении в вертикальном и горизонтальном направлениях,

C_i – приведенная жесткость пружины в вертикальном направлении,

$C_{\phi i}$ – приведенная изгибная жесткость в i -м шарнире,

$C_i^1, C_{\phi i}^1$ – коэффициенты демпфирования,

$\dot{\Delta}_i, \dot{\Delta}_{\phi i}$ – относительные скорости.

Очевидно, что уравнения подобного вида определяют движение любой массы корпуса ракеты, ТПК, элементов СА, исключая крайние массы и массы, к которым присоединены либо сосредоточенные массы (жидкости, двигатели и т.п.), либо силы, действующие на ракету со стороны ТПК (реакции в опорных поясах, силы трения и т.д.). Для этих масс уравнения движения должны быть соответственно изменены.

Движение масс, имитирующих двигатели:

$$m_d\ddot{x}_d = C_d\Delta_d + C_d^1\dot{\Delta}_d - m_dg. \quad (6)$$

Движение масс, имитирующих подвижность компонентов топлива в баках ракеты:

$$m_j\ddot{x}_j = C_j\Delta_j + C_j^1\dot{\Delta}_j - m_jg; \quad (7)$$

$$m_j^*l_j^*\dot{\theta}_j^* = m_j^*l_j^*\ddot{y}_{ij}\cos\theta_j^* - m_j^*l_j^*\ddot{x}_{ij}\sin\theta_j^* - m_j^*l_j^*g\sin\theta_j^* - \frac{\delta_j\omega_j}{\pi}l_j^2\dot{\theta}_j^*m_j. \quad (8)$$

Выражения, входящие в уравнения :

Усилия в вертикальных связях ракеты с ТПК

$$B_j = B_j(\delta_v) + f_v|B_v(\delta_v)|\text{Sign}\dot{\delta}_v,$$

Реакция в j -м поясе горизонтальной амортизации ракеты

$$A_j = A_j(\delta_j) + f_j|A_j(\delta_j)|\text{Sign}\dot{\delta}_j,$$

Сила трения j -го пояса горизонтальной связи ракеты с ТПК

$$F_{mpj} = (F_j + f_{mpj} |A_j|) \text{Sign} \dot{\delta}_j,$$

Сила, действующая в связи d-го упруго подвешенного элемента с ракетой

$$P_d = C_d (X_{id} - X_d)$$

Сила, действующая в 1-й связи аналога жидкости

$$P_{lm} = C_{lm} (X_{im} - X_{lm})$$

Горизонтальная сила, действующая со стороны 1-го маятника-жидкости

$$G_{lm} = m_l^* [\ddot{y}_{il} - l_l^* \text{Sin} \theta_l \ddot{\theta}_l]$$

Сила трения вертикальных связей ракеты с ТПК

$$T_1 = f_1 \left| \sum_{j=1}^8 B_j \right| \text{Sign} \dot{\delta}_{m1}^z,$$

Момент вертикальных связей ракеты с ТПК

$$M_1 = \sum_{j=1}^8 B_j r_j$$

Сила, действующая в k-й горизонтальной связи ТПК с каркасом СА

$$R_k = C_p^z (X_{pc} - X_{pk})$$

Суммарное усилие в вертикальной связи ТПК с опорным кольцом СА

$$T_{22} = \sum_{k=1}^8 C_k \Delta_k,$$

Момент усилий в вертикальных связях ТПК с опорным кольцом СА

$$M_{22} = \sum_{k=1}^8 c_k \Delta_k r_k$$

Усилие в вертикальных связях каркаса с тягами ВА

$$T_{33} = \sum_{s=1}^4 C_s^v \Delta_s^v,$$

Момент усилий в вертикальных связях каркаса с тягами ВА

$$M_{33} = \sum_{s=1}^4 c_s^v \Delta_s^v r_s$$

Усилие в горизонтальной связи каркаса с тягами ВА

$$F_{sl} = C_{SL}^r (y_{STl} - y_{sc})$$

Суммарное усилие в вертикальных связях опорного кольца с тягами ВА

$$T_{44} = \sum_{t=1}^4 C_t \Delta_t,$$

Момент усилий в вертикальных связях опорного кольца с тягами ВА

$$M_{44} = \sum_{t=1}^4 c_t \Delta_t r_t$$

Момент сил трения в S-м шарнире

$$M_1 = f_w r_w |R_4| \text{Sign} \dot{\delta}_w,$$

Усилие в амортизаторе ВА

$$p = p_0 \left(\frac{V_0}{V_0 \pm Fh} \right)^k$$

Усилие демпфера ВА

$$D^b = F \text{sign} \dot{\Delta} + k \dot{\Delta}^2 \text{sign} \dot{\Delta}$$

при $k \dot{\Delta}^2 \leq D_{\max}^b$

$$D^b = F \text{sign} \dot{\Delta} + \left[D_{\max}^b + k^* (\dot{\Delta}^2 - \dot{z}_{\text{пред}}^2) + k^{**} (|\dot{\Delta}| - \dot{z}_{\text{пред}}) \right] \text{sign} \dot{\Delta}$$

при $k \dot{\Delta}^2 \geq D_{\max}^b$

Усилие в амортизаторе ГА

$$F_k^r = F_k^{r*} (\Delta_k) + f_k^r |F_k^r (\Delta_k)| \text{sign} \dot{\Delta}_k$$

Усилие демпфера ГА

$$D_k^r = F_k \text{sign} \dot{y}_k + k_r \dot{y}_k^2 \text{sign} \dot{y}_k \text{ при } k_r \dot{y}_k^2 \leq D_{\max}^r$$

$$D_k^r = F_k \text{sign} \dot{y}_k + \left[D_{\max}^r + k_r^* (\dot{y}_k^2 - \dot{y}_{\text{пред}}^2) + k_r^{**} (|\dot{y}_k| - \dot{y}_{\text{пред}}) \right] \text{sign} \dot{y}_k$$

при $k \dot{y}_k^2 \geq D_{\max}^r$

Определение параметров нагрузок для расчета общей прочности в расчетных сечениях корпусов ракеты и ТПК сводится к определению максимальных эквивалентных осевых усилий, действующих в расчетных сечениях:

$$T_{\text{экв}} = T_{\text{ос}} + \frac{4 |M_{\text{изг}}|}{D},$$

где $T_{ос}$, $M_{изг}$ - соответственно осевые силы и изгибающие моменты в рассматриваемых сечениях; D - диаметр расчетного сечения ракеты или ТПК.

Определение нагрузок для расчета местной прочности сводится к нахождению усилий, действующих в местах связей ракеты и ТПК, а также ТПК с люлькой и опорным кольцом системы амортизации.

Разработанная на языке программирования высокого уровня FORTRAN программа EXLOAD [1,5], предназначенная для решения системы дифференциальных уравнений путем интегрирования методом Эйлера, позволяет определить параметры движения и нагружения элементов конструкции амортизированной системы с учетом упругих свойств конструкции и жидкого наполнения топливных баков ракеты при многократном сейсмозрывном воздействии.

Программа построена для «сквозной задачи», которая предусматривает расчет полной модели системы «внешнее воздействие - шахтное сооружение - система амортизации – контейнер - ракета и ее элементы», рассматриваемой совместно, начиная от характеристик внешних воздействий и кончая параметрами нагрузок для расчета общей и местной прочности ракеты и контейнера.

Алгоритм расчета параметров движения и нагружения системы включает в себя следующие основные блоки, решаемые совместно:

- внешних воздействий;
- внешней системы амортизации;
- динамики и нагрузок люльки с каркасом;
- динамики и расчета нагрузок ТПК;
- внутренней системы амортизации ракеты;
- динамики и расчета нагрузок ракеты.

Данная методика и программа расчета нашли широкое применение в практике ГП КБ «Южное» при проектировании ракетных комплексов и их испытаниях для подтверждения заданных требований по стойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические основы оценки стойкости ракеты в шахтной пусковой установке к спецвоздействию: Научно - технический отчет.

- 21.17156.134 ОТ /Дегтярев А.В., Сиренко В.Н., Василенко А.А. - Днепропетровск: ГП КБ «Южное», 2011.- 40с.
2. Дегтярев А.В., Василенко А.А. Методика расчета живучести ракетных комплексов. Космическая техника. Ракетное вооружение. ГП КБ «Южное», 2008.-вып 1. стр. 55-64.
3. Микишев Г.Н., Рабинович Б.И. Динамика тонкостенных конструкций с отсеками, содержащими жидкость. М. «Машиностроение», 1971.
4. Колесников К.С. Жидкостная ракета как объект регулирования. М. «Машиностроение», 1969.
5. Василенко А.А., Гусев В.В., Арлекинова О.Э., Дзюба А. П., Ободан Н.И. Нагрузки и прочность балочных и оболочечных конструкций при сейсмических воздействиях. Учебное пособие. Днепропетровск. Изд-во Днепропетровского национального университета. 2006. 192 стр.

Н.Л. Дорош, Ю.О. Храпач

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛІЗУ АНГІОГРАМ

Анотація. Представлені результати розробки інформаційної системи для аналізу зображень, що отримані при проведенні ангіографічних досліджень судин пацієнтів з діагнозом «ішемія головного мозку». В роботі розглянуті питання створення інструменту для лікаря, за допомогою якого можна буде проводити дослідження патології судин. Інформаційна система заснована на застосуванні методів цифрової обробки зображень ангіограм і дозволяє проводити візуалізацію і обробку ангіограм, які відображені на плівках. Розроблено алгоритм обробки зображень так, щоб всі дії над зображенням проводились послідовно. Алгоритм містить функції покращення зображення, а також дає можливість визначення розмірів ділянки судини.

Ключові слова: ангіограма, цифрове зображення, інформаційна система, видалення шуму, контрастування, об'єм ділянки судин, візуалізація.

Постановка проблеми. Ангіограма є рентгенографічне зображення [1]. Сучасний медичний апарат - ангіограф - дозволяє провести аналіз зображень з використанням персонального комп'ютера. При цьому зображення в цифровому вигляді можуть зберігатися в базі даних. Результатом медичних досліджень із застосуванням ангіографів старого зразка були рентгенографічні зображення на плівках. На сьогоднішній день в лікувальних закладах є величезна кількість рентгенівських знімків у вигляді плівки. Для проведення аналізу рентгенограм зручно переводити їх у цифровий вигляд, а потім за допомогою спеціальних комп'ютерних методів проводити оцінку розмірів ураженої ділянки судини.

Для проведення досліджень «старих» ангіограм зручно було б використати програмний засіб, який би був простий у користуванні і вміщав би команди обробки рентгенівських зображень у такій послідовності, яка б дозволяла візуалізацію покращеного зображення і визначення кількісних оцінок уражених ділянок судин.

Інформаційна система, яку розроблено, заснована на застосуванні методів цифрової обробки зображень (ангіограм), які попередньо були переведені в цифровий вигляд.

Аналіз останніх досліджень. На сьогоднішній день обробка зображень є важливим напрямом досліджень у багатьох галузях. Відомі такі завдання обробки зображень, як фільтрація і відновлення, сегментація, як засоби стискування інформації [2, 3]. Проблеми розпізнавання зображень окрім класичного завдання розпізнавання фігур заданої форми ставлять нові завдання розпізнавання ліній і кутів на зображенні, розпізнавання краю зображення [4]. З огляду літератури зрозуміло, що методи обробки зображень достатньо відомі і використовуються у різних напрямках. Також зрозуміло, що алгоритм обробки будь-якого зображення треба обирати в залежності від проблеми, яка вирішується.

Об'єкти на медичних зображеннях володіють великою складністю і багатофакторністю, що обумовлює високі вимоги до надійності, точності і верогідності результатів досліджень.

Формулювання цілей статті. Ціллю роботи було розробка алгоритму обробки ангіограм судин і створення інструменту для лікаря, за допомогою якого можна буде проводити дослідження патології судин на підставі вивчення зображень.

Основна частина. Об'єктом досліджень є медичні зображення, а саме рентгенограми ангіографічних досліджень судин голови. Ці ангіограми одержано шляхом переведення ангіографічних знімків, приведених на плівці в цифровий вигляд. В даній роботі цей етап обробки не розглядається.

Ангіографічне, як і будь-яке інше рентгенівське дослідження, засноване на фізичному законі ослаблення рентгенівського випромінювання при проходженні через речовину. Для того щоб на зображенні було видно судини, в них вводиться контрастна речовина, що поширюється по судинній мережі разом з кров'ю. Судина (просторовий об'єкт) - трубка з вигинами в різних напрямках. Її зображення виходить в результаті центрального проектування на площину реєстрації. Як наслідок, на ангіографічному зображенні відбувається накладення судин, а також ділянок однієї судини, які знаходяться на різних відстанях по глибині. Фон зображення утворюється за рахунок накладення образів м'яких тканин і

кісткових структур і має різну інтенсивність на різних ділянках. Зміна фону є більш плавною (низькочастотною) в порівнянні зі змінами інтенсивності, які відповідають зображенням судин.

На основі попереднього аналізу знімків розроблено алгоритм обробки зображень так, щоб всі дії над ними проводились послідовно, тобто кожна наступна операція над зображенням була пов'язана з попередньою.

На рисунку 1 представлено алгоритм обробки ангіографічного зображення, який є основою інформаційної системи, яку розроблено.

Після завантаження цифрового зображення дослідник має можливість перегляду кількості зображень і їх обробки. Треба відмітити, що зображення можна зберігати після виконання будь-якої функції обробки.

Алгоритм обробки зображення можна умовно поділити на дві частини: покращення якості і обробка.

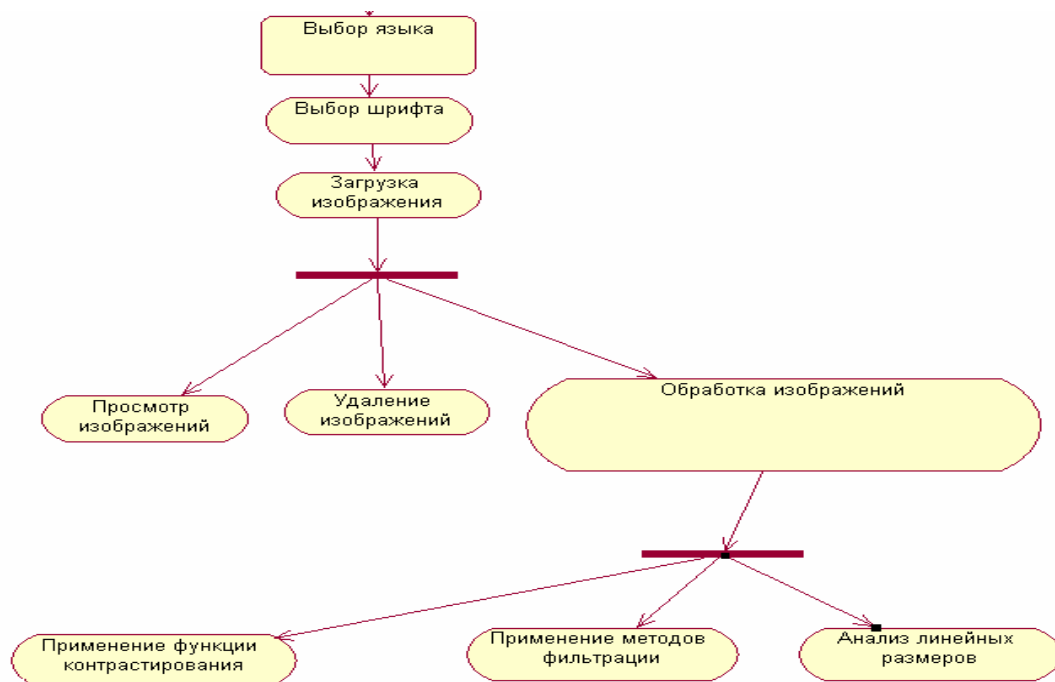


Рисунок 1 - Алгоритм обробки зображень

Для покращення якості застосовуються методи: регулювання показника інтенсивності; різницевий метод; вирівнювання гістограм; декореляційне розтягування; видалення шуму. Обробка зображення складається з методів гамма – корекції, перетворення локальних контрастів, фільтрації.

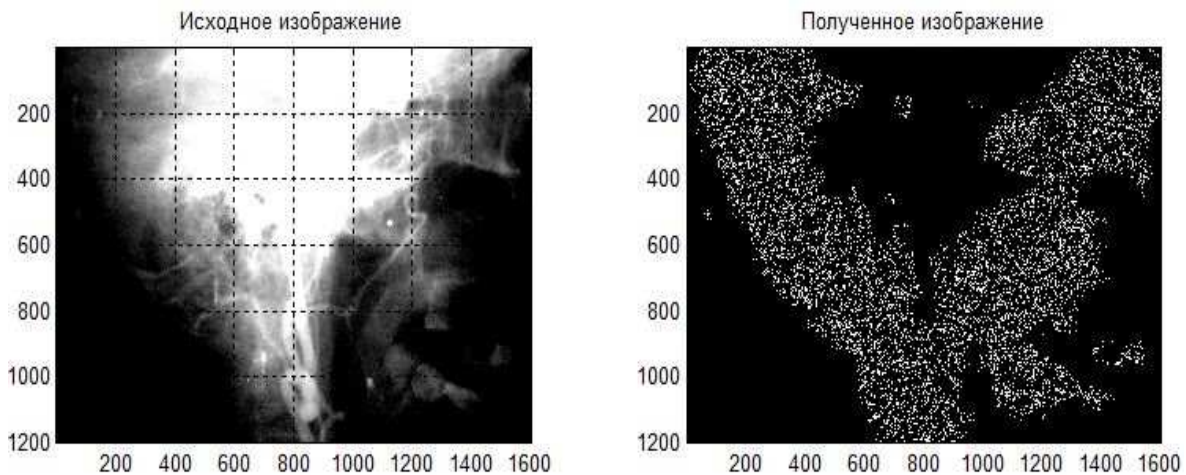


Рисунок 2 – Приклад використання фільтру Канні

На рисунку 2 представлений медичний знімок – ангиограма голови, який оброблено фільтром Канні [5]. В результаті виділені границі області, яка представляє інтерес.

Після обробки зображення цими методами, знову робимо візуальне порівняння та обираємо найкраще зображення, після чого на екрані з'являється вікно з обраним зображенням.

Програмний засіб забезпечує декілька способів повного або часткового усунення шуму на зображеннях. Для усунення різних видів шуму використані методи лінійної, рангової, адаптивної фільтрації.

У роботі реалізована функція, застосування якої дозволить визначити довжину ураженої судини. Результат вимірювання буде показаний на зображенні у вигляді позначки. Програма дозволяє провести вимірювання трьох відстаней на одному зображенні одночасно. На рисунках 3, 4 показані вікна програми з демонстрацією вимірювання відстаней.

Відстань виражається в пікселях. Для отримання істинного розміру в одиницях довжини необхідно використовувати коефіцієнт масштабування. У програмному засобі передбачена можливість вибору масштабу користувачем (наприклад, 8 pixel відповідає 0,1 мм).

Висновки. Розроблено алгоритм обробки ангиограм судин головного мозку та інформаційну систему для проведення досліджень патології судин на підставі вивчення зображень. Основними недоліками рентгенівських зображень (ангиограм), в більшості випадків, є спотворені характеристики яскравості і низька

контрастність, що ускладнює аналіз дрібних деталей. Головною метою обробки зображення за допомогою розробленої інформаційної системи є поліпшення зображення і визначення розмірів ураженої ділянки судини.

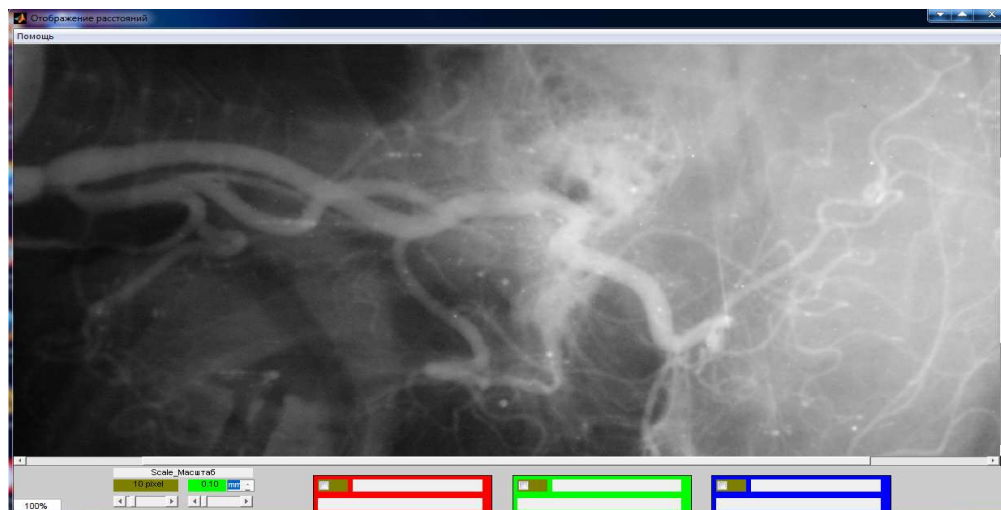


Рисунок 3 – Вид вікна з кнопками вибору міток

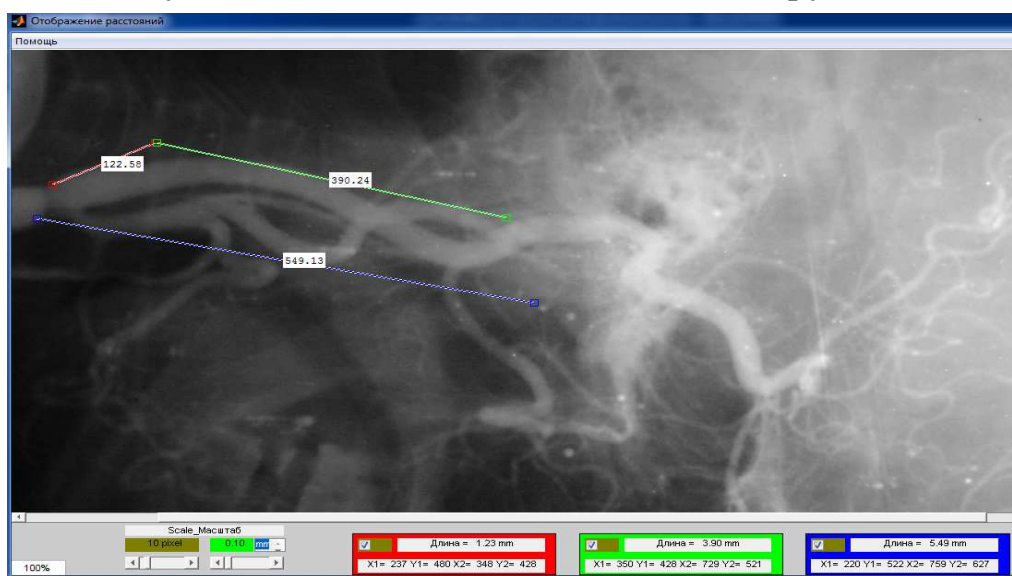


Рисунок 4 – Вид вікна з результатом визначення лінійних розмірів

ЛІТЕРАТУРА

1. Покровский А.П. Клиническая ангиология сосудов головного мозга. - Издательство «ДМК Пресс», - 2008 г. -722с.
2. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. – М.: Мир, - 1978 г. – 412с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений: Пер.с англ. / Под ред. Чогия П. А., – М.: Техносфера, - 2005г. - 1072с.
4. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. Потапова А. А., - М.: Физматлит, - 2008г. – 496с.
5. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде Matlab. – М.: Техносфера, - 2006г. – 616с.

И.В. Каменева, Н.Е. Русакова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РАССЛОЕНИЯ ПРЕДИКАТА В МОРФОЛОГИИ РУССКОГО ЯЗЫКА

Аннотация. На сегодняшний день актуальной задачей искусственного интеллекта является задача формализации структур естественного языка. Моделирование морфологических конструкций на языке алгебры конечных предикатов приводит модели к формированию реляционной сети. В связи с этим, в статье рассматривается задача автоматизации построения реляционных сетей любой сложности с помощью метода расслоения конечного предиката, на примере анализа морфологических структур русского языка.

Ключевые слова: Расслоение предиката, Реляционная сеть, Предикат модели, Бинаризация.

Введение

Свободное понимание человеком устной и письменной речи и их синтез создает иллюзию простоты языка. Но уже на морфологическом уровне работы с языком, т.е. уровне обработки отдельного слова, возникают трудности, которые до сих пор еще в достаточной степени не преодолены. На сегодняшний день можно говорить лишь об отдельных фрагментах полной модели естественного языка, полностью задача построения формализованной грамматики русского языка еще далека от решения [1]. Как известно, отношение – это универсальное средство формального описания структуры любых объектов, их свойств, связей между ними, действий над ними, а также любых информационных процессов. В этой связи актуальным является применение языка алгебры предикатов (формульной записи отношений) для формального описания языковых структур.

В работе [2] рассмотрена морфологическая модель склонения потенциальных форм полных непряжательных имен прилагательных русского языка, представленных в звуковой форме. В этой модели процесс перехода от таблицы к соответствующей ей ветви реляционной сети происходит на интуитивном уровне, исходя из правил

грамматики русского языка. В статье рассматривается задача автоматизации этого перехода с помощью применения метода расслоения конечного предиката [3]. Этим методом показано, что произвольный конечный предикат $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ с помощью процедуры его расслоения можно преобразовать в стандартную форму и перейти от нее к сети специального вида, которая формально определяется как реляционная сеть и предназначена для решения уравнения $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1$.

Описание метода расслоения

Метод расслоения предиката, то есть перехода от произвольной математической структуры к соответствующей ей реляционной сети состоит из следующей последовательности шагов.

Шаг 1. Вводим предикаты эквивалентности $E_i(x_i, x_i)$ ($i = \overline{1, m}$), характеризующие классификаторы предиката $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$. Вычисление производится по формуле, которая может использоваться для любого конечного числа переменных x_m :

$$E_i(x_i, x_i) = \forall x_1 \in A_1 \forall x_2 \in A_2 \dots \forall x_{i-1} \in A_{i-1}$$

$$\forall x_{i+1} \in A_{i+1} \dots \forall x_m \in A_m (P(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_m) P(x_1, x_2, \dots, x_{i-1}, x_i, x_{i+1}, \dots, x_m))$$

Шаг 2. Получаем классификаторы предиката $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ в неявном $F_i(x_i, y_i)$ и в явном $f_i(x_i) = y_i$ видах ($i = \overline{1, m}$).

Шаг 3. Строим классифицирующий слой переключательной цепи предиката $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$.

Шаг 4. Находим предикат $Q(y_1, y_2, \dots, y_m)$, ассоциирующий слой переключательной цепи предиката $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$, используя следующую формулу:

$$Q(y_1, y_2, \dots, y_m) = \exists x_1 \in A_1 \exists x_2 \in A_2 \dots \exists x_m \in A_m (P(x_1, x_2, \dots, x_m) \wedge F_1(x_1, y_1) \wedge F_2(x_2, y_2) \wedge \dots \wedge F_m(x_m, y_m)).$$

Шаг 5. Производим бинаризацию предиката $Q(y_1, y_2, \dots, y_m)$ с помощью уравнения:

$$Q(y_1, y_2, \dots, y_m) = \exists z \in C (G_1(y_1, z) \wedge G_2(y_2, z) \wedge \dots \wedge G_m(y_m, z)),$$

где

$$G_i(y_i, z) = \exists y_1 \in B_1 \exists \dots y_{i-1} \in B_{i-1}$$

$$\exists y_{i+1} \in B_{i+1} \dots \exists y_m \in B_m R(y_1, y_2, \dots, y_m, z), (i = \overline{1, m});$$

$R(y_1, y_2, y_3)$ – предикат, получаемый из предиката $Q(y_1, y_2, \dots, y_m)$ нумерацией его конститuent единиц.

Шаг 6. Строим ассоциирующий слой переключательной цепи предиката $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = t$.

Шаг 7. Задаем $t = 1$ и превращаем схему предиката $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ в реляционную сеть, реализующую отношение P (рис. 4).

Шаг 8. Представляем реляционную сеть в виде многополюсника [4,5].

По ветвям реляционной сети происходит преобразование информации при помощи вычисления линейного логического оператора первого рода:

$$\exists x \in A(P(x) \cdot K(x, y)) = Q_{\max}(y)$$

Сеть отыскивает во всех случаях неискаженных множеств корней уравнения $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1$ и решает уравнения для любых предикатов $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ при любом числе m предметных переменных x .

2. Математическое описание процесса склонения полных непряжательных имен прилагательных, представленных в звуковой форме

При формальном описании процесса склонения полных непряжательных имен прилагательных, вводим необходимые предметные переменные: x_1 – род формы слова со значениями М – мужской, Ж – женский, С – средний; x_2 – число формы слова со значениями Е – единственное, М – множественное; x_3 – падеж формы слова со значениями И – именительный, Р – родительный, Д – дательный, В – винительный, Т – творительный, П – предложный; x_4 – признак одушевленности формы слова со значениями О – одушевленный, Н – неодушевленный; x_5 – признак употребляемости формы слова со значениями С – современная, А – архаичная; t – тип склонения слова со значениями 1-7; z – окончание формы слова, z_n – левая часть окончания формы слова, z_n – правая часть окончания формы слова; y_1 –

последний звук основы слова, y_2 – признак ударности-безударности, y_3 – признак мягкости-твёрдости.

Математическая модель склонения полных непряжательных имен прилагательных характеризуется системой бинарных отношений $P_1 - P_{11}$, задаваемых двудольными графами и формулами соответствующих предикатов. Образуя конъюнкцию всех этих предикатов, получаем предикат модели:

$$P(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, r, s, y_1, y_2, y_3, z_n, z_n) = P(x_1, r) \wedge P_2(x_2, r) \wedge P_3(x_3, r) \wedge P_4(x_4, r) \wedge P_5(x_5, r) \wedge P_6(y_1, s) \wedge P_7(y_2, s) \wedge P_8(y_3, s) \wedge P_9(s, z_n) \wedge P_{10}(r, z_n) \wedge P_{11}(s, z_n).$$

Предикату модели соответствует отношение модели P , связывающее между собой предметные переменные $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, r, s, y_1, y_2, y_3, z_n, z_n$. Отношение модели P наглядно изображается в виде реляционной сети, которую можно построить для любой модели. В нашем конкретном случае получаем логическую сеть склонения полных непряжательных имен прилагательных. Она изображена на рис. 1.

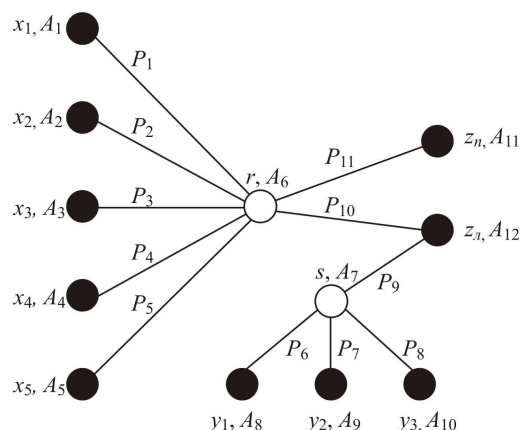


Рисунок 1 -Строение модели реляционной сети склонения полных непряжательных имен прилагательных русского языка, представленных в звуковой форме

Рассмотрим каждое из вышеописанных бинарных отношений. Переменная x_1 и номер влияния контекста на слово r связаны отношением P_1 :

$$P(x_1, r) = x_1^M (r^1 \vee r^4 \vee r^5) \vee (x_1^M \vee x_1^C) (r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee r^7) \vee x_1^{\mathcal{K}} (r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12}) \vee x_1^C r^{13} \vee (x_1^M \vee x_1^{\mathcal{K}} \vee x_1^C) \wedge (r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).$$

Аналогично записываются отношения P_2, P_3, P_4, P_5 связывающие переменные x_2, x_3, x_4, x_5 и r :

$$P_2(x_2, r) = x_2^E(r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13}) \vee x_2^M(r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19});$$

$$P_3(x_3, r) = x_3^H(r^1 \vee r^8 \vee r^{14}) \vee x_3^P r^2 \vee x_3^D(r^3 \vee r^{16}) \wedge x_3^B(r^4 \vee r^5 \vee r^{10} \vee r^{17} \vee r^{18}) \vee x_3^T(r^6 \vee r^7 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{19}) \vee (x_3^P \vee x_3^D \vee x_3^B)r^9 \vee (x_3^H \vee x_3^B)r^{13} \vee (x_3^P \vee x_3^H)r^{15};$$

$$P_4(x_4, r) = x_4^H(r^4 \vee r^{17}) \vee x_3^O(r^5 \vee r^{18}) \vee (x_4^H \vee x_3^O) \wedge (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{19});$$

$$P_5(x_5, r) = x_5^C r^{11} \vee x_5^A r^{12} \vee (x_5^C \vee x_5^A) \wedge (r^1 \vee r^2 \vee r^3 \vee r^4 \vee r^5 \vee r^6 \vee r^7 \vee r^8 \vee r^9 \vee r^{10} \vee r^{13} \vee r^{14} \vee r^{15} \vee r^{16} \vee r^{17} \vee r^{18} \vee r^{19}).$$

Далее переходим к описанию классов последних звуков основы слова, которые зависят от признаков ударности-безударности и твердости-мягкости. После классификации последних букв основы слова перенумеровываем значения типов склонения (табл. 1-2).

Таблица 1

Таблица 2

Зависимость y_1 от типа склонения t Зависимость классов y_1 от типа склонения s

$y_2 y_3$					
y_1		УТ	УМ	БТ	БМ
б		1	3	5	7
ч		—	3	—	7
г		—	4	6	—
ж		2	—	5	—
		t			

$y_2 y_3$					
y_1		УТ	УМ	БТ	БМ
б		1	3	6	9
ч		—	4	—	10
г		—	5	7	—
ж		2	—	8	—
		s			

$$P_6(y_1, s) = (y_1^б \vee y_1^в \vee y_1^д \vee y_1^з \vee y_1^п \vee y_1^м \vee y_1^н \vee y_1^п \vee y_1^р \vee y_1^с \vee y_1^т \vee y_1^ф)(s^1 \vee s^3 \vee s^6 \vee s^9) \vee (y_1^ч \vee y_1^щ \vee y_1^й \vee y_1^ж) \wedge (s^4 \vee s^{10}) \vee (y_1^г \vee y_1^к \vee y_1^х)(s^5 \vee s^7) \vee (y_1^ж \vee y_1^п \vee y_1^ш)(s^2 \vee s^8);$$

$$P_7(y_2, s) = y_2^y(s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) \vee y_2^B(s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10});$$

$$P_8(y_3, s) = y_3^T(s^1 \vee s^2 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^8) \vee y_3^M(s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^9 \vee s^{10}).$$

Для описания отношений $P_9(r, z_n)$ и $P_{10}(r, z_n)$ вводим левую z_n и правую z_n части окончания. Окончание z естественным образом расчленяется на левую и правую части, например, ого $\rightarrow$ (о, го). Основанием для разделения окончания на левую и правую части является то, что правая часть окончания определяется исключительно влиянием контекста (признаки $x_1 - x_5$), тогда как левая часть окончания определяется, кроме того, еще и типом склонения слова s .

$$P_9(r, z_n) = z_n^{\text{й}}(r^1 \vee r^4 \vee r^9 \vee r^{11}) \vee z_n^{\text{бо}}(r^2 \vee r^5) \vee z_n^{\text{му}} r^3 \vee z_n^{\text{м}}(r^6 \vee r^7 \vee r^{16}) \vee z_n^{\text{йя}} r^8 \vee z_n^{\text{йю}}(r^{10} \vee r^{12}) \vee z_n^{\text{йе}}(r^{13} \vee r^{14} \vee r^{17}) \vee z_n^{\text{х}}(r^{15} \vee r^{18}) \vee z_n^{\text{ми}} r^{19};$$

$$P_{10}(r, z_n) = (z_n^{\text{б}} \vee z_n^{\text{и}} \vee z_n^{\text{о}} \vee z_n^{\text{ё}})(r^1 \vee r^4) \vee (z_n^{\text{э}} \vee z_n^{\text{е}} \vee z_n^{\text{о}} \vee z_n^{\text{ё}})(r^2 \vee r^3 \vee r^5 \vee r^7 \vee r^9 \vee r^{11} \vee r^{12} \vee r^{13}) \vee (z_n^{\text{а}} \vee z_n^{\text{я}} \vee z_n^{\text{а'}} \vee z_n^{\text{я'}}) r^8 \vee (z_n^{\text{у}} \vee z_n^{\text{ю}} \vee z_n^{\text{у'}} \vee z_n^{\text{ю'}}) r^{10}.$$

Классы левых частей окончания z_n связаны с типами склонения следующим отношением: $1 = \{\text{ы, о, ф, у}\}, 2 = \{\text{ы, э, а, у}\}, 3 = \{\text{и, е, я, ю}\}, 4 = \{\text{и, о, а, у}\}, 5 = \{\text{ы', о', а', у'}\}, 6 = \{\text{и', о', а', у'}\}, 7 = \{\text{и', ё, я', ю'}\}$. Эти классы при пересечении всегда дают единственный звук, например $1 \cap 2 = 1 = \{\text{ы, о, ф, у}\} \cap 2 = \{\text{ы, э, а, у}\} = \{\text{ы}\}$. Отношение $P_{11}(s, z_n)$ описывает эту связь.

$$P_{11}(s, z_n) = s^1(z_n^{\text{б}} \vee z_n^{\text{о}} \vee z_n^{\text{а}} \vee z_n^{\text{у}}) \vee s^2(z_n^{\text{б}} \vee z_n^{\text{э}} \vee z_n^{\text{а}} \vee z_n^{\text{у}}) \vee (s^3 \vee s^4)(z_n^{\text{и}} \vee z_n^{\text{е}} \vee z_n^{\text{я}} \vee z_n^{\text{ю}}) \vee s^5(z_n^{\text{и}} \vee z_n^{\text{о}} \vee z_n^{\text{а}} \vee z_n^{\text{у}}) \vee (s^6 \vee s^8)(z_n^{\text{ы'}} \vee z_n^{\text{о'}} \vee z_n^{\text{а'}} \vee z_n^{\text{у'}}) \vee s^7(z_n^{\text{и'}} \vee z_n^{\text{о'}} \vee z_n^{\text{а'}} \vee z_n^{\text{у'}}) \vee (s^9 \vee s^{10})(z_n^{\text{и}} \vee z_n^{\text{ё}} \vee z_n^{\text{я}} \vee z_n^{\text{ю}}).$$

3. Применение метода расслоения к морфологической задаче

В рассмотренном примере, классификация последних букв основы слова и переход к значениям типов склонения слова происходит на интуитивном уровне с использованием правил русского языка. Попробуем сформировать эту таблицу и перейти от нее к реляционной сети с использованием метода расслоения. Пусть таблица признаков слова представлена табл. 3.

Таблица 3

y_1	$y_2 y_3$			
	УТ	УМ	БТ	БМ
б, в, д, з, л, м, н, п, р, с, т, ф	1	1	1	1
ч, щ, й, #,	0	1	0	1
г, к, х	0	1	1	0
ж, ц, ш	1	0	1	0

$$P(y_1, y_2, y_3)$$

Совершенная дизъюнктивная нормальная форма исходного предиката P равна:

$$P(y_1, y_2, y_3) = (y_1^{\text{б}} \vee y_1^{\text{в}} \vee y_1^{\text{д}} \vee y_1^{\text{з}} \vee y_1^{\text{л}} \vee y_1^{\text{м}} \vee y_1^{\text{н}} \vee y_1^{\text{п}} \vee y_1^{\text{р}} \vee y_1^{\text{с}} \vee y_1^{\text{т}} \vee y_1^{\text{ф}}) y_2^{\text{у}} y_3^{\text{т}} \vee (y_1^{\text{б}} \vee y_1^{\text{в}} \vee y_1^{\text{д}} \vee y_1^{\text{з}} \vee y_1^{\text{л}} \vee y_1^{\text{м}} \vee y_1^{\text{н}} \vee y_1^{\text{п}} \vee y_1^{\text{р}} \vee y_1^{\text{с}} \vee y_1^{\text{т}} \vee y_1^{\text{ф}}) y_2^{\text{у}} y_3^{\text{м}} \vee (y_1^{\text{б}} \vee y_1^{\text{в}} \vee y_1^{\text{д}} \vee y_1^{\text{з}} \vee y_1^{\text{л}} \vee y_1^{\text{м}} \vee y_1^{\text{н}} \vee y_1^{\text{п}} \vee y_1^{\text{р}} \vee y_1^{\text{с}} \vee y_1^{\text{т}} \vee y_1^{\text{ф}}) y_2^{\text{б}} y_3^{\text{т}} \vee (y_1^{\text{б}} \vee y_1^{\text{в}} \vee y_1^{\text{д}} \vee y_1^{\text{з}} \vee y_1^{\text{л}} \vee y_1^{\text{м}} \vee y_1^{\text{н}} \vee y_1^{\text{п}} \vee y_1^{\text{р}} \vee y_1^{\text{с}} \vee y_1^{\text{т}} \vee y_1^{\text{ф}}) y_2^{\text{б}} y_3^{\text{м}}.$$

$$\vee y_1^M \vee y_1^H \vee y_1^П \vee y_1^B \vee y_1^C \vee y_1^T \vee y_1^Ф) y_2^B y_3^M \vee (y_1^Ч \vee y_1^Ш \vee y_1^Й \vee y_1^#) y_2^Y y_3^M \vee (y_1^Ч \vee y_1^Ш \vee y_1^Й \vee y_1^#) y_2^B y_3^M \vee (y_1^Г \vee y_1^К \vee y_1^Х) y_2^Y y_3^M \vee (y_1^Г \vee y_1^К \vee y_1^Х) y_2^B y_3^T \vee (y_1^Ж \vee y_1^П \vee y_1^Ш) y_2^Y y_3^T \vee (y_1^Ж \vee y_1^П \vee y_1^Ш) y_2^B y_3^T.$$

Вводим предикаты эквивалентности и получаем классификаторы предиката $P(y_1, y_2, y_3)$ в неявном виде $F_i(y_i, h_i)$.

y_1	б	в	д	з	л	м	н	п	р	с	т
h_1	б	б	б	б	б	б	б	б	б	б	б

y_1	ф	ч	щ	й	#	г	к	х	ж	ц	ш
h_1	б	ч	ч	ч	ч	г	г	г	ж	ж	ж

y_2	у	б
h_2	у	б

y_3	т	м
h_3	т	м

$$F_1(y_1, h_1) = (y_1^б \vee y_1^в \vee y_1^д \vee y_1^з \vee y_1^л \vee y_1^м \vee y_1^н \vee y_1^п \vee y_1^р \vee y_1^с \vee y_1^т) h_1^б \vee (y_1^ч \vee y_1^ш \vee y_1^й \vee y_1^#) y_1^ч \vee (y_1^Г \vee y_1^К \vee y_1^Х) h_1^Г \vee (y_1^Ж \vee y_1^П \vee y_1^Ш) h_1^Ж;$$

$$F_2(y_2, h_2) = y_2^Y h_2^Y \vee y_2^B h_2^B;$$

$$F_3(y_3, h_3) = y_3^T h_3^T \vee y_3^M h_3^M.$$

Находим предикат $Q(h_1, h_2, h_3)$ – предикат видов склонения слов, ассоциирующий слою переключательной цепи предиката $P(h_1, h_2, h_3)$. Таблица отношения, соответствующего предикату $Q(h_1, h_2, h_3)$, наборы значений переменных в которой пронумерованы значениями вспомогательной переменной s , представлена в табл. 4.

Таблица 4

h_1	h_2	h_3	s
б	у	т	1
ж	у	т	2
б	у	м	3
ч	у	м	4
г	у	м	5
б	б	т	6
г	б	т	7
ж	б	т	8
б	б	м	9
ч	б	м	10

$R(h_1, h_2, h_3, s)$

$Q(h_1, h_2, h_3)$

Производим бинаризацию предиката $R(h_1, h_2, h_3, s)$. Для предиката $P(h_1, h_2, h_3)$ имеем:

$$R(h_1, h_2, h_3, s) = (h_1^6 h_2^y h_3^T) s^1 \vee (h_1^ж h_2^y h_3^T) s^2 \vee (h_1^6 h_2^y h_3^M) s^3 \vee (h_1^ч h_2^y h_3^M) s^4 \vee (h_1^r h_2^y h_3^M) s^5 \vee \\ \vee (h_1^6 h_2^B h_3^T) s^6 \vee (h_1^r h_2^B h_3^T) s^7 \vee (h_1^ж h_2^B h_3^T) s^8 \vee (h_1^6 h_2^B h_3^M) s^9 \vee (h_1^ч h_2^B h_3^M) s^{10}.$$

$$G_1(h_1, s) = h_1^6(s^1 \vee s^3 \vee s^6 \vee s^9) \vee h_1^ж(s^2 \vee s^8) \vee h_1^ч(s^{10} \vee s^4) \vee h_1^r s^7;$$

$$G_2(h_2, s) = h_2^y(s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5) \vee h_2^B(s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10});$$

$$G_3(h_3, s) = h_3^T(s^1 \vee s^2 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^8) \vee h_3^M(s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^9 \vee s^{10});$$

После преобразований, таблица связи признаков слова с типом склонения представлена табл. 5, полностью совпадающей с табл. 2, в которой значения переменных y_i совпадают со значениями h_i в табл. 5.

Строим ассоциирующий слой переключательной цепи предиката $P(y_1, y_2, y_3, h_1, h_2, h_3, s) = g$, где $g \in \{0, 1\}$, (рис. 2).

Таблица 5

	h_2h_3				
h_1	УТ	УМ	БТ	БМ	
б	1	3	6	9	s
ч	—	4	—	10	
г	—	5	7	—	
ж	2	—	8	—	
$R(h_1, h_2, h_3, s)$					

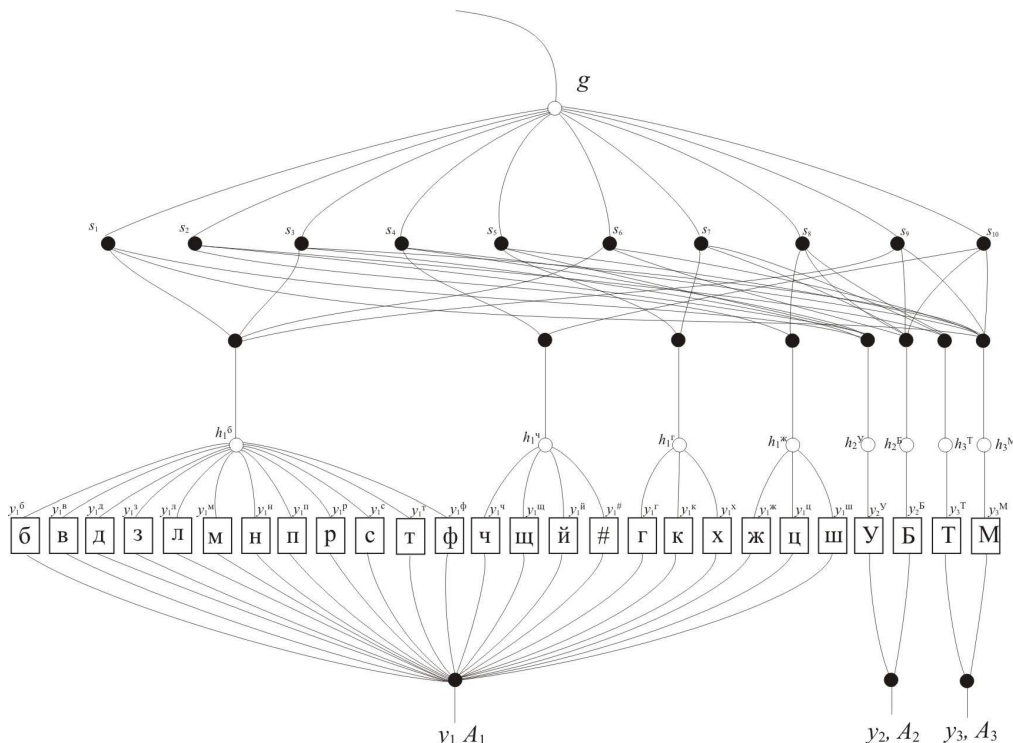


Рисунок 2 - Переключательная цепь

$$T(s) = s^1 \vee s^2 \vee s^3 \vee s^4 \vee s^5 \vee s^6 \vee s^7 \vee s^8 \vee s^9 \vee s^{10}.$$

$$R(h_1, h_2, h_3, s) = G_1(h_1, s) \wedge G_2(h_2, s) \wedge G_3(h_3, s).$$

На рис. 3 представлена реляционная сеть для отношения $P(y_1, y_2, y_3, h_1, h_2, h_3, s) = g$.

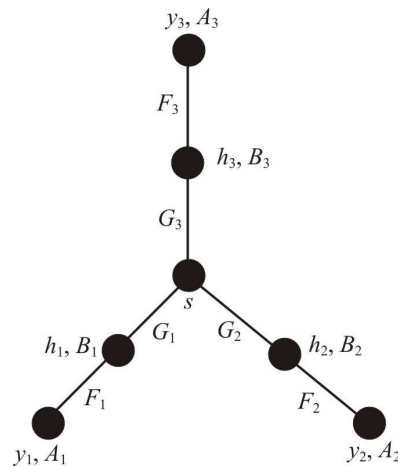


Рисунок 3 - Реляционная сеть, полученная расслоением

Выводы

В статье найдено практическое применение методу расслоения конечного предиката для конкретной морфологической задачи моделирования процесса склонения полных непряжательных имен прилагательных, представленных в звуковой форме. Проверено, что сеть отыскивает во всех случаях неискаженные множества корней уравнения $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1$ и решает уравнения для любых предикатов $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ при любом числе m предметных переменных x . Проверена правильность составления таблицы, определяющей связь признаков слова с типом склонения. В дальнейшей работе планируется применить метод расслоения для признаков контекста и образования словоформы, в результате чего оценить работоспособность метода для полной модели склонения, объединив воедино отдельные части реляционной сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко М.Ф. Мозгоподобные структуры [Текст] / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко. – Київ: Наукова думка. – 2011. – 160 с.
2. Русакова Н. Е. Модель устной речи [Текст] / Н. Е. Русакова // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2010. – №1(72). – С. 94 – 97.
3. Русакова Н.Е. О методе расслоения конечного предиката [Текст] / Н.Е. Русакова // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2011. – №3 (77). – С. 50 – 53.
4. Бондаренко М.Ф. О реляционных сетях [Текст] / М.Ф. Бондаренко, Н.П. Кругликова, И.А. Лещинская, Н.Е. Русакова, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко // Бионика интеллекта. – 2010. – № 3. – С. 8-13.
5. Бондаренко М.Ф. О булевых реляционных сетях [Текст] / М.Ф. Бондаренко, И.В. Каменева, Н.Е. Русакова, Ю.П. Шабанов-Кушнарченко, И.Ю. Шубин // Бионика интеллекта: научн.-техн. журнал. – 2011. – №1 (75). – С. 3 – 7.

О.Я. Карпович, О.А. Онищенко

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ОДНОПОРШНЕВОГО ГЕРМЕТИЧНОГО КОМПРЕССОРА В РЕЖИМАХ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕГО ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация. В работе представлены оценки изменяющихся в функции угла поворота вала приводного электродвигателя момента сопротивления и момента инерции однопоршневого герметичного компрессора малой холодильной установки. Аналитические выражения основаны на анализе функционирования кривошипно-шатунного механизма нагнетательного тракта герметичных компрессоров малых холодильных установок. Показано, что при снижении холодопроизводительности однопоршневых компрессоров необходимо обеспечивать требуемый диапазон ее изменения путем создания специализированных систем автоматизированного управления на основе регулируемых по частоте вращения вала компрессоров электроприводов.

Ключевые слова: однопоршневой компрессор, кривошипно-шатунный механизм, моменты сопротивления и инерции, электропривод, холодопроизводительность.

Введение. Одна из основных тенденций современной холодильной техники – создание энергетически эффективных систем охлаждения на основе плавно управляемых компрессоров [1-3]. Для малых холодильных установок задача плавного управления холодопроизводительностью герметичных компрессоров практически не решена, так как в установках холодопроизводительностью до 1 кВт обычно применяются герметичные однопоршневые компрессоры с однофазным асинхронным электродвигателем, функционирующем в “релейном” режиме. Применение управляемого по частоте вращения электропривода не позволяет простыми средствами получить требуемый диапазон ($D = 1/4 \dots 1/5$) изменения холодопроизводительности [4, 5], что связано с особенностями работы механизма нагнетания герметичного компрессора [6-8]. Достоверная оценка основных свойств механизма нагнетания герметичного компрессора, при изменении его холодопроизводительности средствами управляемого электропривода, позволит

синтезировать систему автоматизированного управления, обеспечивающую требуемый диапазон D .

Таким образом, решение задачи управления холодопроизводительностью герметичных компрессоров малых холодильных установок в заданном диапазоне, учитывая распространенность и массовость применений таких установок – актуальная задача, решение которой в масштабах государства позволит получить существенную экономию энергетических ресурсов.

Основная часть. Известно, что момент сопротивления M_c однопоршневого герметичного компрессора ($ОГК$) является сложной функцией угла поворота φ , угловой частоты вращения ω вала двигателя и газовой силы F_g , действующей на поршень [4-7]. Газовая сила весьма существенно изменяется в функции режимов работы холодильной установки, зависит от температуры конденсации и тепловой нагрузки. В [5-7], а также в ряде работ Якобсона В.Б. и Редкозуба Б.Д., отмечено существенное влияние неравномерности нагрузки, изменяющейся в функции угла поворота φ вала компрессора, на величину электрических потерь встроенного электродвигателя. Для существующих $ОГК$ применяют асинхронные электродвигатели с повышенным номинальным скольжением, что позволяет несколько уменьшить пульсации тока. Однако увеличение скольжения допустимо только до определенных пределов, при выходе за которые недопустимо возрастают тепловыделения в обмотке электродвигателя компрессора.

Уровень пульсаций частоты вращения электродвигателей $ОГК$ регламентирован стандартами и не может превышать 20 %. Для снижения амплитуды этих пульсаций на ротор электродвигателя устанавливают дополнительную инерционную массу – маховик [5, 7]. Кроме того, переменный момент инерции сочлененной с валом двигателя компрессора кривошипно-шатунной группы (поршневого ряда) также оказывает заметное влияние на амплитуду пульсаций частоты вращения двигателя, что приводит к дополнительным потерям. Эта проблема решается аналогично – установкой на ротор электродвигателя еще одного уравнивающего противовеса. Экспериментально установлено, что в $ОГК$ малых холодильных установок при уменьшении частоты вращения вала двигателя заметно увеличивается коэффициент неравномерности вращения компрессора, затрудняется его

пуск, возникают заметные вибрации корпуса и возрастает шум. Таким образом, в существующих *ОГК* эти задачи частично решаются установкой на кривошип и ротор дополнительных уравнивающих противовесов, заметно увеличивающих массу компрессора.

Кинематика и динамика механизма однопоршневого компрессора хорошо описывается нелинейными звеньями кривошипно-шатунного типа (см. рис. 1). И, так как суммарный момент инерции J_{Σ} и момент сопротивления M_c являются сложными функциями угла поворота кривошипа OA , то уравнением движения для одномассовой механической системы пользоваться некорректно.

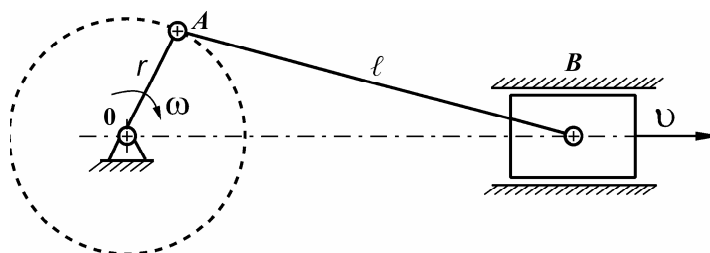


Рисунок 1 – Кривошипно-шатунный механизм

Из уравнения Лагранжа $\frac{d}{d\tau} \left(\frac{\partial W_K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial W_K}{\partial q_i} = Q_i$, где W_K – суммарный запас кинетической энергии системы; q_i , $\dot{q}_i$, Q_i – обобщенные координаты, скорости и силы системы, можно показать, что запас кинетической энергии системы определяется выражением $W_K = J_{\Sigma}(\phi) \cdot 0,5 \cdot \omega^2$. При этом, согласно рис. 1, обобщенными координатами для кривошипно-шатунного механизма (*КШМ*) являются угловое перемещение ϕ , скорость ω и сила Q_1 : $q_1 = \phi$; $\dot{q} = \omega$; $Q_1 = M - M_c(\phi)$.

Тогда

$$\frac{\partial W_K}{\partial \phi} = \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{\partial J_{\Sigma}(\phi)}{\partial \phi} \text{ и}$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W_K}{\partial \omega} \right) = \frac{dJ_{\Sigma}(\phi)}{d\tau} \cdot \omega = J_{\Sigma}(\phi) \cdot \frac{d\omega}{d\tau} + \frac{dJ_{\Sigma}(\phi)}{d\phi} \frac{d\phi}{d\tau} \cdot \omega.$$

Уравнение движения *КШМ* можно представить в виде:

$$M - M_c(\phi) = J_{\Sigma}(\phi) \cdot \frac{d\omega}{d\tau} + \frac{dJ_{\Sigma}(\phi)}{d\phi} \cdot \omega^2 - \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ_{\Sigma}(\phi)}{d\phi}. \quad (1)$$

$$F_A = F_B \cdot v_B / v_A, \quad (2)$$

При изменении угла поворота ϕ кривошипа линейная скорость v_B поршня 8, несмотря на то, что $\omega = const$, изменяется по величине и знаку. Поэтому сила в точке A является функцией угла поворота кривошипа – $F_A(\phi)$ и момент относительно оси O будет определяться

[illegible]

ISSN 1562-9945

Соответственно, можно записать и выражение для момента сопротивления M_C , приложенного к валу электродвигателя:

$$M_C = M_0 = F_B \cdot r \cdot \left(\frac{v_B}{v_A} \right). \quad (3)$$

Приняв, что масса поступательно перемещающихся звеньев компрессора сосредоточена в точке B с массой m_B , определим запас кинетической энергии массы m_B : $W_B = \frac{m_B \cdot v_B^2}{2}$. Из условия равенства запасов энергии в т. B и т. A (точка A , имеет сосредоточенную массу m_A и линейную скорость v_A), следует, что $\frac{m_A \cdot v_A^2}{2} = \frac{m_B \cdot v_B^2}{2}$. Очевидно, что:

$$m_A = m_B \cdot \left(\frac{v_B}{v_A} \right)^2, \quad (4)$$

причем момент инерции точечной массы m_A относительно оси 0 равен

$$J = m_A \cdot r^2 = m_B \cdot r^2 \cdot \left(\frac{v_B}{v_A} \right)^2. \quad (5)$$

Можно показать, что $v_B \cdot \cos \beta = v_A \cdot \sin(\phi + \beta)$. Тогда

$$\frac{v_B}{v_A} = \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos \beta} = \frac{\sin \phi \cdot \cos \beta + \cos \phi \cdot \sin \beta}{\cos \beta} = \sin \phi + \cos \phi \cdot \frac{\sin \beta}{\cos \beta}. \quad (6)$$

Согласно теореме синусов, для треугольника OAB справедлива запись $r \cdot \sin \phi = l \cdot \sin \beta$. С учетом общепринятого [5, 7] для КШМ компрессоров обозначения $\lambda = r/l$, можно записать $\sin \beta = \lambda \cdot \sin \phi$.

Тогда получим:

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi}. \quad (7)$$

Если разложить выражение (7) в бином Ньютона

$$(\sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi - \frac{1}{8} \cdot \lambda^4 \cdot \sin^4 \phi - \frac{1}{16} \cdot \lambda^6 \cdot \sin^6 \phi - \dots)$$

и ограничиться двумя первыми членами бинома, можно записать:

$$\cos \beta \approx 1 - 0,5 \cdot \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi. \quad (8)$$

Подставив (8) в (6) и проведя очевидные тригонометрические преобразования, получим:

$$\frac{v_B}{v_A} \approx \sin \phi + \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\sin 2\phi}{1 - 0,5 \cdot \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi}. \quad (9)$$

Теперь, из (3) и (5) можно записать аналитические выражения для приведенных к валу электродвигателя момента сопротивления и момента инерции *КШМ* компрессора:

$$M_c(\phi) \approx F_B \cdot r \cdot \left[\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\sin 2\phi}{1 - 0,5 \cdot \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi} \right] \quad (10)$$

$$J(\phi) \approx m_B \cdot r^2 \cdot \left[\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \cdot \frac{\sin 2\phi}{1 - 0,5 \cdot \lambda^2 \cdot \sin^2 \phi} \right]^2, \quad (11)$$

являющихся функциями угла поворота ϕ кривошипа 0А.

При численном моделировании динамики электропривода с учетом переменного момента инерции *КШМ* следует непосредственно использовать (11), при этом на каждом шаге расчета определяя текущее значение ϕ [4].

Тем не менее, при моделировании результирующей фактической зависимости момента сопротивления в (10) необходимо дополнительно учесть:

- периодические изменения действующей на поршень газовой силы $F_g = F_B$ на различных участках хода поршня компрессора;
- реактивную составляющую M_{CP} сил трения *КШМ*;
- влияние “вязкого” трения M_{CB} , возникающего при движении *КШМ* и ротора электродвигателя в вязкой среде смеси фреона и масла.

Реактивную и “вязкую” составляющие момента сопротивления можно определить, соответственно, по выражениям:

$$M_{CP} = M_{TXX} \cdot \text{sign}(\omega), \quad (12)$$

$$M_{CB} = \alpha \cdot \omega^\beta, \quad (13)$$

где момент трения холостого хода M_{TXX} и коэффициенты α , β определяются из конструктивных параметров *КШМ* и электродвигателя компрессора.

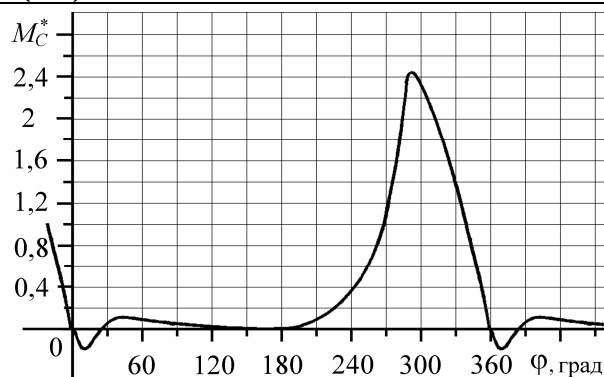


Рисунок 3 – Зависимость статического момента однопоршневого герметичного компрессора от угла поворота вала электродвигателя

В компрессоростроении газовая сила F_g рассчитывается графоаналитическими методами [5, 7] для конкретного типа компрессора и не имеет аналитического описания. Для герметичных однопоршневых компрессоров в течение одного оборота вала двигателя газовая сила содержит три основных участка: всасывания, нагнетания и противодействия. Поэтому совместное действие (10), (12) и (13) можно представить в виде графика, изображенного на рис. 3, где M_c^* – результирующий статический момент, выраженный в относительных единицах.

Выводы. Основная проблема при управлении холодопроизводительностью однопоршневых герметичных компрессоров малых холодильных установок заключается в невозможности обеспечения относительно низких частот вращения и, соответственно, снижения холодопроизводительности компрессора. При снижении холодопроизводительности компрессора, запас кинетической энергии перемещающихся масс $KШМ$ (см. рис. 1 и рис. 2) заметно снижается. Из-за существенно изменяющихся моментов инерции и сопротивления $KШМ$, пульсации частоты вращения приводного электродвигателя резко возрастают и, при уже относительно небольших изменениях холодопроизводительности компрессора в сторону ее уменьшения, компрессор останавливается. Эта проблема может быть успешно разрешена только специализированными средствами автоматизированного управления электроприводом компрессора [3, 4, 9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева И.А., Смыслов В.И., Калнинь И.М. Повышение энергетической эффективности бытовой холодильной техники. – Режим доступа: <http://www.pozis.ru/articles/show/106>.
2. Научно-технические основы создания современных бытовых холодильных приборов / [В.И. Ландик, В.П. Шевченко, А.А. Шубин и др.]; под. ред В.И. Ландика. – Донецк: ДонНУ, 2002. – 200 с.
3. Онищенко О.А. Модель холодильной установки с автоматизированным электроприводом компрессора / О.А. Онищенко // Холодильная техника и технология (прилож. к журналу от 14.10.2005). – 2005. – С. 120-129.
4. Карпович О.Я. Расширение диапазона регулирования производительности микрокомпрессоров средствами автоматизированного электропривода / О.Я. Карпович, О.А. Онищенко // Матер. міжн. наук.-техн. конф. “Сучасні проблеми холодильної техніки і технології”. – Одеса: ОДАХ, 2011. – С. 63-65.
5. Проектирование поршневого компрессора холодильных машин и тепловых насосов / [Л.И. Морозюк, Т.В. Морозюк, Л.В. Ястребова и др.]; под. ред. Л.И. Морозюк. – Одесса: ОГАХ, 2003. – 75 с.
6. Якобсон В.Б. Малые холодильные машины / В.Б. Якобсон. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 368 с.
7. Зеликовский И.Х. Малые холодильные машины и установки: Справочник / И.Х. Зеликовский, Л.Г. Карлан. – М.: Агропромиздат, 1989. – 672 с.
8. Фираго Б.И. Теория электропривода: Учебн. пособие / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн.: Техноперспектива, 2007. – 585 с.
9. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах: беспоскоковые методы / А.Л. Фрадков. – М.: Наука, 1990. – 296 с.

А.І. Купін, М.О. Іщенко, І.О. Музика

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ
ДЛЯ КЕРУВАННЯ БУРОВИБУХОВИМИ РОБОТАМИ**

Анотація. Розглянуто питання програмної реалізації системи комп'ютерної підтримки рішень для керування буровибуховими роботами в кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату. Запропоновано підхід до інтеграції розробленої системи в інформаційну структуру підприємства.

Ключові слова: система комп'ютерної підтримки рішень, буровибухові роботи, база даних, паралельні обчислення, оптимізація параметрів.

Постановка проблеми

Як відомо, технологічні процеси гірничого виробництва є досить енергоємними. Так, за даними ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут» енергетичні витрати за технологічними процесами розкриття, видобування та дроблення руди можуть досягати 1,4–3,9 тис. кВт·год/т залізної руди [1]. Зважаючи на обсяги річного видобування руди гірничо-збагачувальними комбінатами (ГЗК) до 35 млн. т, одними із пріоритетних напрямів зниження собівартості продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємств є використання сучасного устаткування і впровадження спеціалізованих інформаційних технологій для автоматизації технологічних процесів виробництва.

Проведені дослідження [2] показують, що достатньо ефективно керувати підготовкою гірничої маси в кар'єрі ГЗК можна за допомогою системи комп'ютерної підтримки рішень (СКПР) шляхом визначення оптимального середнього шматка руди в залежності від фізико-механічних параметрів гірничого масиву. Розробка такої інформаційної системи є досить складним і актуальним науково-інженерним завданням, яке потребує застосування сучасних методів проектування програмного забезпечення, інтеграції до інформаційної структури підприємства та налагодження інформаційних потоків.

Аналіз публікацій за темою досліджень

Питанням аналізу та побудови систем підтримки прийняття рішень присвячено багато робіт [3-5]. Значний внесок у розвиток теорії прийняття рішень та машинного навчання зробили вчені: Івахненко О.Г., Поспелов Д.О., Бодянський Є.В., Михальов О.І., Руденко О.Г., Ларичев О.І., Люгер Дж.Ф., Рассел С. та ін. Результати цих досліджень є потужною основою для побудови комп'ютерної інтелектуальної системи. Крім того, сьогодні на ринку інформаційних технологій для гірничо-видобувних підприємств є чимало геоінформаційних систем: Micromine, Mincom, Gemcom, Mineframe, Datamine, K-Mine. Однак дослідження функціональних можливостей даних СКПР підтвердили, що жодна з них поки не розв'язує задач оперативного автоматизованого керування буровибуховими роботами з урахуванням міцності, обводненості та тріщинуватості гірничого масиву.

Формулювання цілей статті

У межах проектування СКПР для оптимізації середнього шматка руди в кар'єрі ГЗК було визначено основні завдання роботи. З метою прискорення процедури пошуку оптимальної рекомендації розробку програмного забезпечення СКПР потрібно проводити із застосуванням технології паралельних обчислень. З урахуванням існуючої інформаційної структури гірничого підприємства запропонувати підхід до інтеграції розробленої СКПР у виробничий процес.

Викладення матеріалу та результати

Відповідно до міжнародного стандарту ISO/IEC 12207:2008 «Системна і програмна інженерія. Процеси життєвого циклу програмних засобів» під час проектування програмного забезпечення (ПЗ) в умовах його експлуатації та тестування на виробництві одним із найбільш важливих етапів розробки є визначення життєвого циклу ПЗ. Оскільки за своєю архітектурою інтелектуальна СКПР є клієнт-серверною інформаційною системою, тому передбачає вирішення таких задач проектування та розробки: клієнтської частини, яка оброблятиме данні, отримані із сервера, та виконуватиме їх аналіз; серверного налагодження бази даних (БД), створення відповідних таблиць, ключів, правил цілісності. У такому разі найбільш доцільною послідовністю етапів розробки СКПР є спіральна модель життєвого циклу. Спіральна модель на відміну від каскадної (водоспадної) має ту пере-

вагу, що ітераційний процес розробки модулів СКПР дозволяє істотно спростити внесення змін до програми за бажанням замовника.

З урахуванням переваг та недоліків існуючих методологій проектування ПЗ найбільш доцільною для розробки СКПР є швидка технологія Rapid Application Development (RAD). Дана методологія найкраще узгоджується зі спіральною моделлю життєвого циклу проекту.

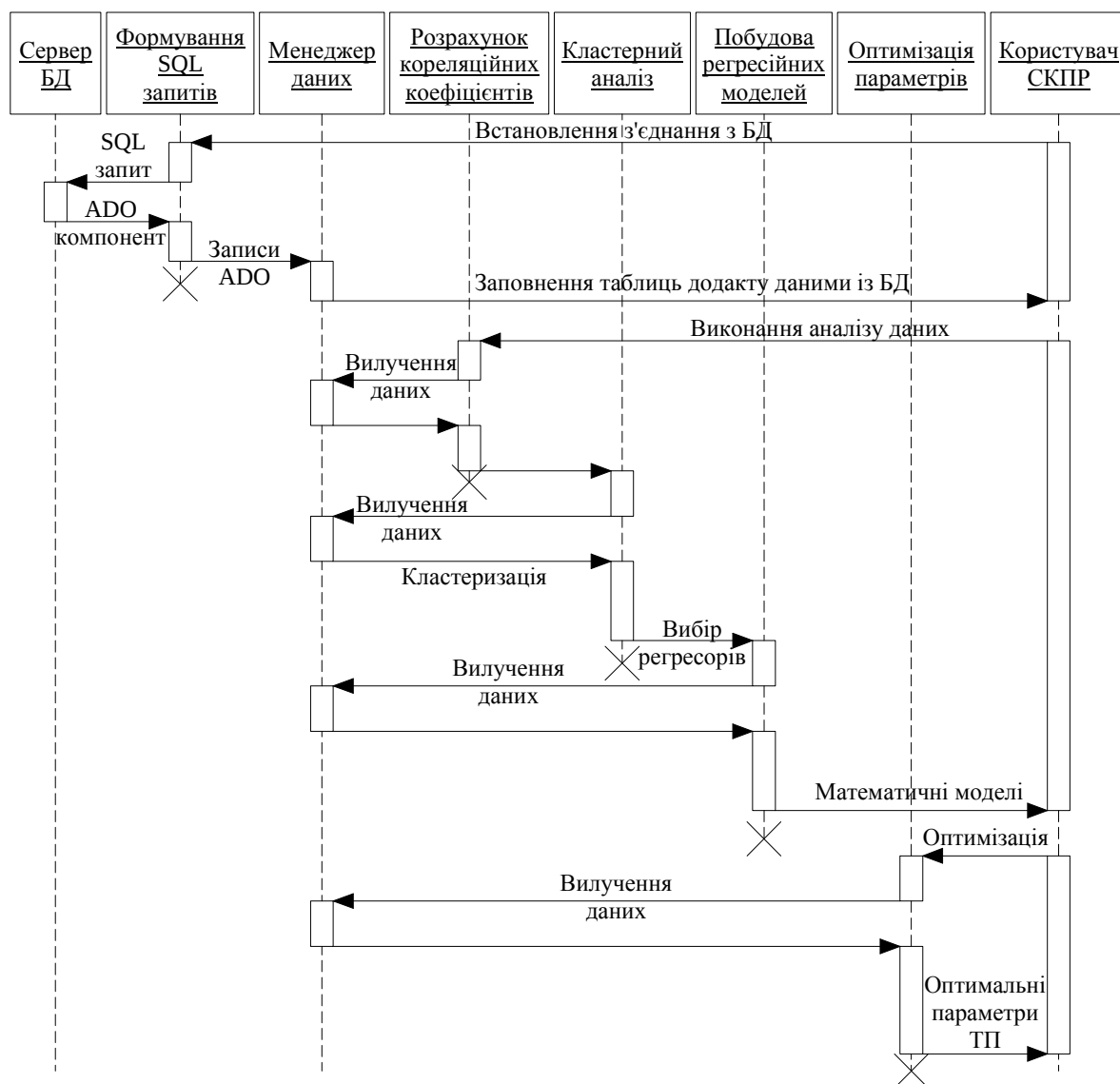


Рисунок 1 - Діаграма послідовностей UML основних класів та методів СКПР

На рис. 1 подано діаграму послідовностей за допомогою уніфікованої мови моделювання Unified Modeling Language (UML). Схема відображає внутрішню архітектуру СКПР та циркуляцію інформаційних потоків. Для зображення дій користування введено абстрактний об'єкт «користувач СКПР». На його лінії життя представлено

три фокуси керування, які відповідають за підключення та завантаження БД, виконання аналізу отриманих даних та оптимізацію параметрів на основі побудованих математичних моделей.

Детальний аналіз вищенаведеної схеми показав, що однією з найбільш ресурсоемних з точки зору обчислень є процедура багатофакторної стохастичної оптимізації, яка проводиться для пошуку найменшого значення критерію функціонування СКПР. Оптимізація математичної моделі з урахуванням 15–20 факторів зумовлює тривалість пошуку рішення понад 10 хв. Тому велика кількість обчислень вимагає удосконалення швидкісних показників алгоритмів за рахунок паралельних обчислень. Аналіз основних функціональних можливостей технологій паралельних обчислень дозволяє стверджувати, що в умовах роботи інтелектуальної СКПР на одному багатоядерному комп'ютері найбільш ефективним буде застосування вільної (freeware) бібліотеки OpenMP.

Узагальнена блок-схема алгоритму стохастичного пошуку оптимуму представлена на рис. 2. Вхідними параметрами алгоритму є: ε – необхідна точність локалізації екстремуму, %; m – кількість змінних, за якими проводиться оптимізація; V – максимальний обсяг оперативної пам'яті, який може використати СКПР для розрахунків, байт. З метою гарантування якості рівномірного розподілу генерованих випадкових векторів та зважаючи на апаратні обмеження комп'ютерів за обсягом оперативної пам'яті, пропонується процедуру пошуку оптимуму проводити k разів. Визначення кількості векторів n проводиться із розрахунку 8 байт типу *double* на одну предикторну змінну (блок 5). Для кожного із p ядер ініціюється окремий потік (блок 10). При цьому загальна кількість тестових точок Q розбивається рівномірно між ітераціями пошуку та відповідними потоками (блок 9). Спочатку шукається мінімум критерію за результатами роботи всіх потоків (блок 12), а потім – за результатами всіх ітерацій (блок 13).

Точність локалізації екстремуму (табл. 1) оцінювалася з допомогою відносної середньоквадратичної похибки

$$\varepsilon_{СК} = 100 \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \left(\frac{x_i^{pr} - x_i^{opt}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}} \right)^2}, \quad (1)$$

де x_i^{pr} – знайдене програмою оптимальне значення i -го параметра;
 x_i^{opt} – дійсне оптимальне значення, знайдене аналітично.

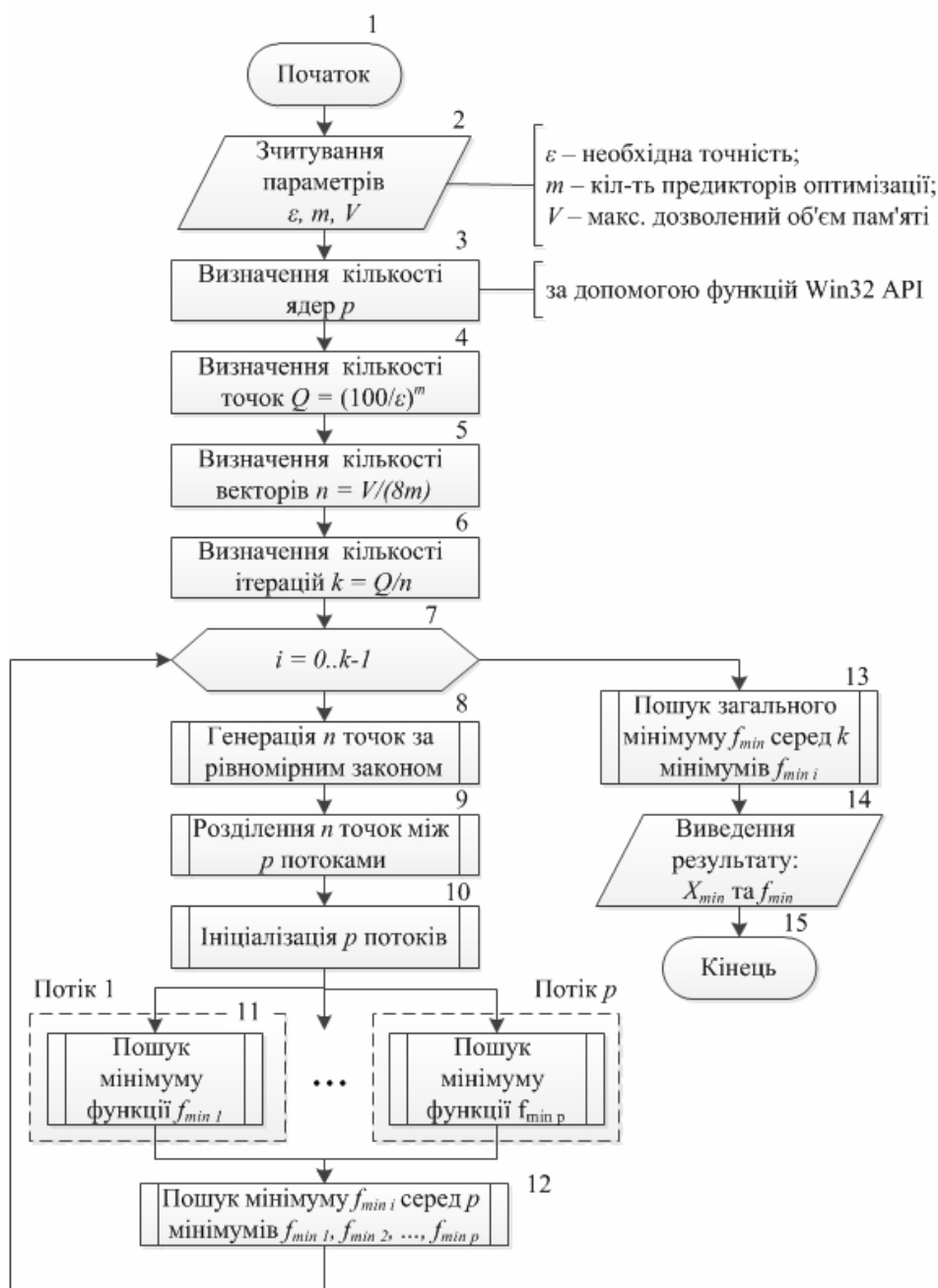


Рисунок 2 - Блок-схема паралельного алгоритму пошуку мінімуму

Таблиця 1

Результати моделювання оптимізаційного алгоритму Монте-Карло

№ з/п	Кількість точок Q	Час виконання t , с		Похибка $\varepsilon_{СК}$, %
		$p = 1$	$p = 2$	
1.	10^6	0,25	0,12	7,78
2.	10^7	2,48	1,6	6,49
3.	10^8	24,9	17,8	4,15
4.	10^9	249,3	160,0	2,55

Підвищення продуктивності обчислювальних алгоритмів, яке досягається за допомогою паралельної обробки інформації, дозволить ефективно інтегрувати інтелектуальну СКПР в інформаційну структуру ГЗК (рис. 3). Порівняльний аналіз переваг та недоліків сучасних систем управління базами даних (СУБД) показує, що в умовах гірничого виробництва найбільш доцільним буде застосування MS SQL Server, яка при меншій вартості, ніж Oracle та IBM DB2, забезпечує високий рівень захисту інформації, повну реалізацію можливостей мови запитів SQL та якісну сервісну підтримку з боку компанії Microsoft. Адекватність прийнятого рішення підтверджується багаторічним досвідом експлуатації СУБД MS SQL Server 2008 на ВАТ «Південний ГЗК». Система ефективно працює на 2-процесорному сервері з об'ємом оперативної пам'яті 6 ГБ, кожен з процесорів має по 4 ядра. БД складається зі 100-120 таблиць, основними полями яких є дійсні числа розміром 8 байт. MS SQL Server за 1 хвилину опрацьовує понад 10000 складних запитів до різних таблиць даних, а пікове навантаження на серверну станцію при цьому не перевищує 70%. Середнє робоче навантаження на процесори складає близько 15-20%. Деякі показники ТП знімаються з датчиків систем керування з частотою в 1 секунду, що генерує досить потужний інформаційний потік. Така дискретність призводить до зростання об'єму БД зі швидкістю 6 ГБ/рік.

Висновки

Отже, застосування технології паралельних обчислень при розробці інтелектуальної СКПР для автоматизації керування буровибухових робіт дає змогу прискорити процедуру пошуку рішення на 2-ядерних обчислювальних машинах не менше ніж в 1,5 рази. Модель інтеграції СКПР у інформаційну структуру гірничого підприємства дозволила визначити доцільність запропонованої інформаційної системи. Розрахунок економічної ефективності впровадження СКПР на ГЗК з річним обсягом видобування руди 35 млн. т при зменшенні сумарних питомих витрат на 0,5%, капітальних витратах 68 тис. грн. показує, що загальний очікуваний річний економічний ефект складає до 3 млн. грн.

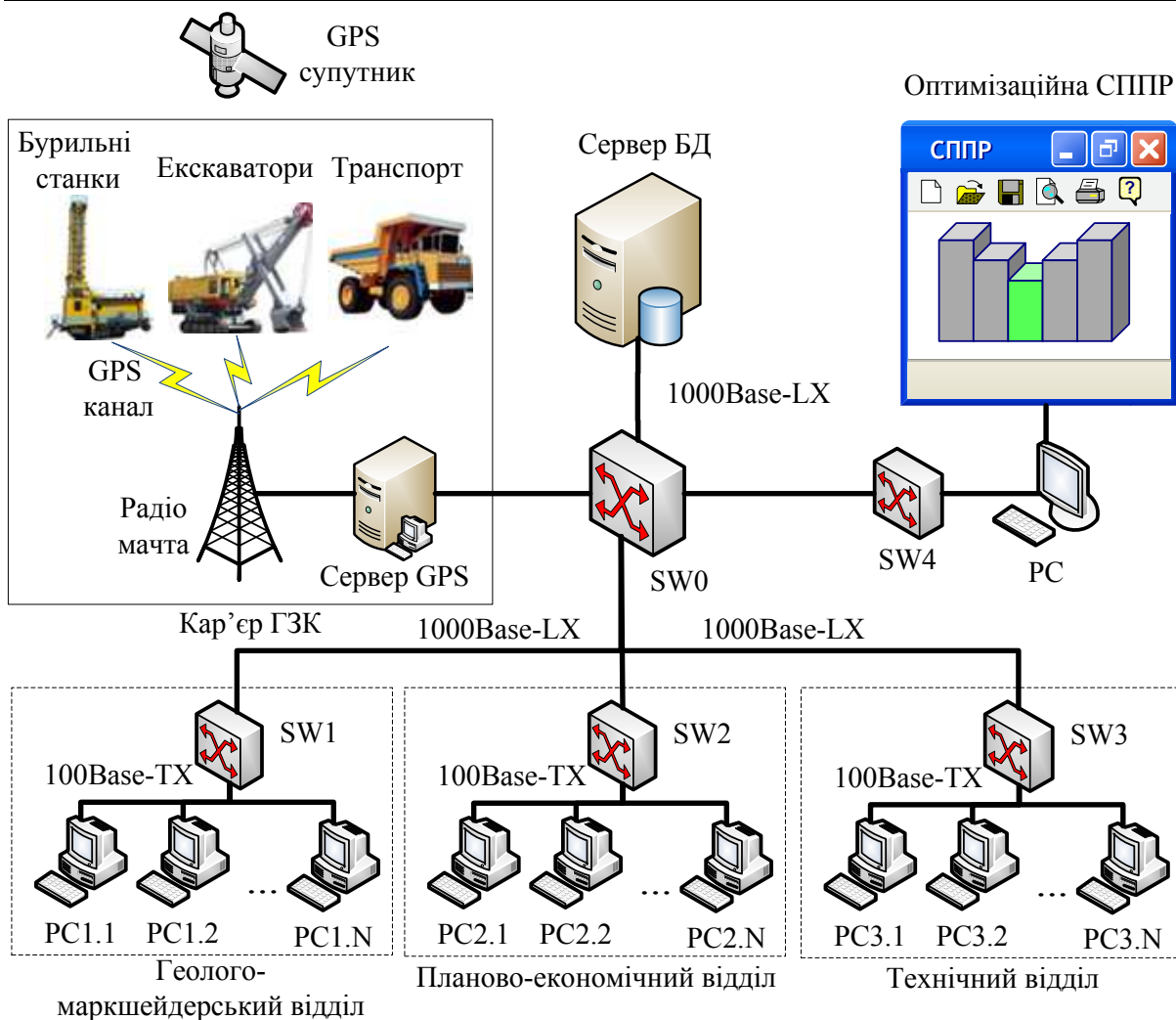


Рисунок 3 - Інтеграція СКПР у типову інформаційну структуру ГЗК

ЛІТЕРАТУРА

1. Технично-економические показатели горнодобывающих предприятий Украины в 2004–2005 гг. / [Близнюков В.Г., Салганик В.А., Штанько Л.А., Русаненко П.А.]. – Кривой Рог: ГП «НИГРИ», 2006. – 122 с.
2. Кононов И.П. Методика расчета параметров буровзрывных работ при массовых взрывах в карьерах / И.П. Кононов. – Кривой Рог, 1985. – 18 с.
3. Лысенко В.С. Обзор и анализ современных СППР на предприятиях открытой добычи руд / В.С. Лысенко // Зб. наук. праць: Економіка: проблеми теорії та практики. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2005. – Вип. 208. – Т. 4. – С. 1091–1098.
4. Силаенков А.Н. Компьютерные системы поддержки принятия решений / А.Н. Силаенков. – Омск: ОмГТУ, 2007. – 80 с.
5. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – СПб.: Недра, 2002. – 424 с.

К.Ю. Новікова, О.І. Михальов

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ В ЗАДАЧАХ АНАЛІЗУ МЕТАЛОГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Аннотація. Робота присвячена дослідженню алгоритмів нечіткої кластеризації в задачах аналізу металографічних зображень. Для дослідження в роботі було реалізовано два алгоритми нечіткої кластеризації: с-середніх та субтрактивний метод нечіткої кластеризації для зразків мікроструктур металографічних зображень (x100, x500).

Ключові слова: кластерний аналіз, кластер, нечітка кластеризація, алгоритм fcm, субтрактивна кластеризація, центр кластеру, металографічні зображення.

Вступ. Термін “кластерний аналіз” насправді включає в себе набір різних алгоритмів класифікації. Загальне питання, що ставиться дослідниками у багатьох галузях, полягає в тому, як організувати спостережувані дані в наочні структури, тобто розгорнути таксономії.

Техніка кластеризації застосовується в найрізноманітніших галузях. Хартіган дав прекрасний огляд багатьох опублікованих досліджень, що містять результати, отримані методами кластерного аналізу.

Задачі та цілі кластеризації. Кластеризація (Data clustering) - завдання машинного навчання, в якому потрібно розділити задану вибірку об'єктів (ситуацій) на підмножини, які не перетинаються. Такі підмножини називаються кластерами. Причому ділити слід, так, щоб кожен кластер складався зі схожих об'єктів, а об'єкти різних кластерів істотно відрізнялися [1].

Задачі кластеризації відносяться до більш широкого класу завдань навчання без учителя.

Типи вхідних даних:

– ознаковий опис об'єктів. Кожен об'єкт описується набором своїх характеристик, які називаються ознаками. Ознаки можуть бути числовими або нечисловими;

– матриця відстаней між об'єктами. Кожен об'єкт описується відстанями до всієї решти навчальної вибірки.

Цілі кластеризації:

– розуміння даних шляхом виявлення кластерної структури. Розподіл вибірки на групи схожих об'єктів дозволяє спростити подальшу обробку даних і прийняття рішень, застосовуючи до кожного кластеру свій метод аналізу;

– стиснення даних. Якщо вихідна вибірка занадто велика, то можна скоротити її, залишивши по одному найтипівішому представникові від кожного кластера;

– виявлення новизни. Виділяються нетипові об'єкти, які не вдається приєднати до жодного з кластерів.

Постановка задачі нечіткої кластеризації. Концептуальний взаємозв'язок між кластерним аналізом і теорією нечітких множин ґрунтується на тій обставині, що при розв'язанні завдань структуризації складних систем більшість формованих класів об'єктів розмиті за своєю природою.

Один із варіантів конкретизації задачі нечіткого кластерного аналізу, для розв'язання якого може бути використана спеціальна функція `fcm` системи MATLAB, заснований на алгоритмі її розв'язання методом нечітких c -середніх.

Для уточнення виду цільової функції $f(\mathcal{S}(A))$ до розгляду вводяться деякі додаткові поняття. Насамперед передбачається, що необхідні нечіткі кластери являють собою нечіткі множини A_k , утворюють нечітке покриття вихідної множини об'єктів кластеризації $A = A$, набуває такого вигляду:

$$\sum_{k=1}^c \mu_{A_k}(a_i) = 1 \quad (\forall a_i \in A), \quad (1)$$

де c - загальна кількість нечітких кластерів $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, яка вважається попередньо заданою ($c \in \mathbb{N}$ и $c > 1$).

Далі для кожного нечіткого кластеру вводяться до розгляду так звані типові представники або центри v_k потрібних нечітких кластерів $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, які розраховуються для кожного з нечітких кластерів і за кожною із ознак за такою формулою:

$$v_j^k = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m \times x_j^i}{\sum_{i=1}^n (\mu_{A_k}(a_i))^m} \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall p_j \in P), \quad (2)$$

де m - деякий параметр, званий експоненціальною вагою і рівний деякому дійсному числу ($m > 1$). Кожен із центрів кластерів є вектором $v_k = (v_1^k, v_2^k, \dots, v_q^k)$ в деякому q -мірному нормованому просторі, ізоморфній $\mathbb{R}^q$, тобто $v_j^k \in \mathbb{R}^q$, якщо всі ознаки виміряні у шкалі відносин.

Зрештою, в якості цільової функції будемо розглядати суму квадратів зважених відхилень координат об'єктів кластеризації від центрів потрібних нечітких кластерів:

$$f(A_k, v_q^k) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^c (\mu_{A_k}(a_i))^m \sum_{j=1}^q (x_j^i - v_j^k)^2, \quad (3)$$

де m - експонентна вага нечіткої кластеризації $m \in \mathbb{R}, m > 1$, значення якої задається в залежності від кількості елементів (потужності) множини A . Чим більше елементів містить множина A , тим менше значення вибирається для m .

Завдання нечіткої кластеризації. Завдання нечіткої кластеризації може бути сформульовано таким чином: для заданих матриці даних D , кількості нечітких кластерів $c \in \mathbb{N}, c > 1$, параметра m визначити матрицю U значень функцій належності об'єктів кластеризації $a_i \in A$, нечітким кластерам A_k ($k \in \{2, \dots, c\}$), які доставляють мінімум цільової функції (3) і задовольняють обмеженням (1), (2), а також додатковим обмеженням (4) і (5):

$$\sum_{i=1}^n \mu_{A_k}(a_i) > 0 \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}), \quad (4)$$

$$\mu_{A_k}(a_i) \geq 0 \quad (\forall k \in \{2, \dots, c\}, \forall a_i \in A). \quad (5)$$

Умова (4) виключає появу порожніх нечітких кластерів в потрібній нечіткій кластеризації. Остання умова (5) має суто формальний характер, оскільки безпосередньо впливає з визначення функції належності нечітких множин. У цьому випадку мінімізація цільової функції (3) мінімізує відхилення всіх об'єктів кластеризації від центрів нечітких кластерів пропорційно значенням функцій належності цих об'єктів до відповідних нечітких кластерів.

Оскільки цільова функція (2) не є опуклою, а обмеження (1), (2), (4), (5) у своїй сукупності формують неопуклі множини припустимих альтернатив, то в загальному випадку завдання нечіткої кластеризації відноситься до багатоекстремальних завдань нелінійного програмування.

Перевагою постановки задачі нечіткої кластеризації у вигляді (1) - (5) є природна інтерпретація як потрібних нечітких кластерів, що визначаються функціями належності (5), так і їхніх типових представників або центрів (2), які також визначаються в результаті розв'язання поставленої задачі.

Недоліком такої постановки задачі нечіткої кластеризації є необхідність апріорного завдання загального числа нечітких кластерів $c \in \mathbb{N}$, $c > 1$, яке в окремих випадках може бути невідомо. Ця обставина може вимагати залучення додаткових процедур для її визначення або розв'язання поставленої задачі для декількох значень c з подальшим вибором найбільш адекватного результату нечіткої кластеризації [2].

Постановка задачі. Дослідити рівні експертної інформації щодо металографічних зображень колісної сталі.

Дослідити роботу алгоритмів нечіткої кластеризації в задачах аналізу металографічних зображень.

Дослідження алгоритмів нечіткої кластеризації в задачах аналізу металографічних зображень. Для аналізу металографічних зображень були обрані три зразки зображень колісної сталі:

- ліквацийна неоднорідність мікроструктури, зразок № 111 (плавка №42380), полоса мартенсіта;
- ліквацийна неоднорідність мікроструктури, x100, зразок № 12 (плавка № 22325), полоса мартенсіта;
- мікроструктура колесної сталі, x500, зразок №102 (плавка № 21384).

Розмір даних зображень складає 640x480. Для розв'язання задачі нечіткої кластеризації реалізовані два алгоритми:

- алгоритм FCM;
- алгоритм субтрактивної нечіткої кластеризації.

На рисунку 1 представлено перший зразок мікроструктури колісної сталі.



Рисунок 1 – Зразок №111 (пл. №42380), смуга мартенсіта

Після отримання першого зображення ми створюємо цикл за допомогою якого отримуємо зображення з поданням про значення кожного пікселя. Отриманий в результаті файл будемо використовувати для подальшого дослідження, тому що дані для кластеризації повинні бути представлені в вигляді матриці чисел.

Наступним кроком дослідження є визначення центрів кластеризації, для цього застосовується функція `fcm`, яка виконується ітераційно до тих пір, поки зміни цільової функції перевищують деякий заданий поріг. На кожному кроці в командному вікні виводяться порядковий номер ітерації і відповідне поточне значення цільової функції. Якщо після запису функції `fcm` у другому рядку не ставити крапку з комою (;), то у вікні команд будуть показані значення координат центрів нечітких кластерів, значення функцій приналежності об'єктів нечітким кластерам і значення цільової функції на кожній з ітерацій роботи алгоритму FCM. У цьому прикладі використовується перший формат запису функції `fcm`.

```
>> [center,U,obj_fcn]=fcm(dip,4);  
Iteration count = 1, obj. fcn = 511325634.087258  
Iteration count = 2, obj. fcn = 397350961.226726  
Iteration count = 3, obj. fcn = 397324432.614382  
Iteration count = 4, obj. fcn = 397324264.686743  
Iteration count = 5, obj. fcn = 397324261.917665  
Iteration count = 6, obj. fcn = 397324261.856672  
Iteration count = 7, obj. fcn = 397324261.855243  
Iteration count = 8, obj. fcn = 397324261.855209  
Iteration count = 9, obj. fcn = 397324261.855208  
>> plot(obj_fcn);
```

Для оцінки динаміки зміни значень цільової функції використовуємо команду побудови графіка `plot(obj_fcn)`. Результати

показані на рисунку 2, з рисунку видно, що чим вище значення цільової функції f_{cm} тим краще кількість ітерацій нечіткої кластеризації.

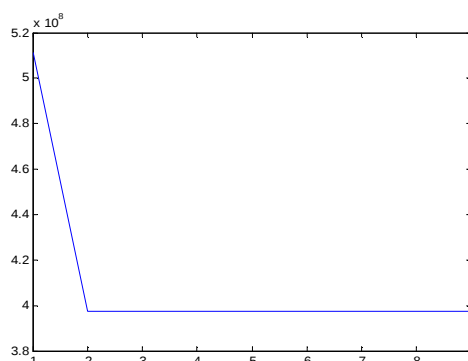
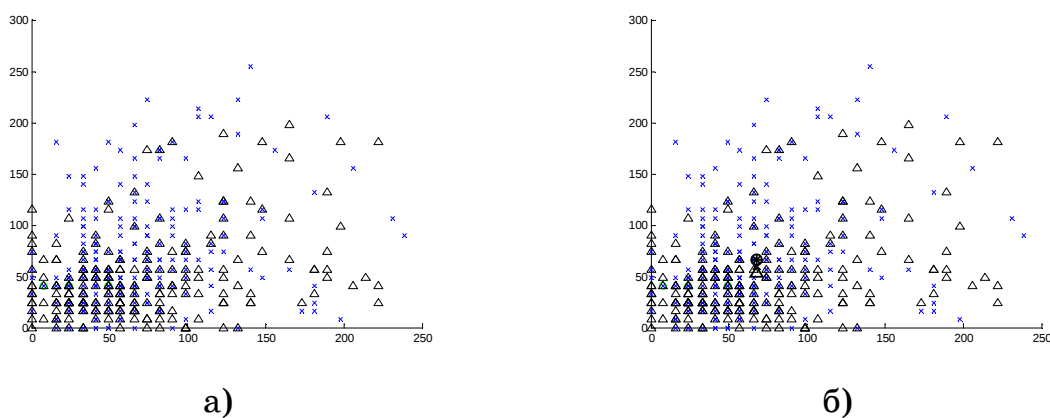


Рисунок 2 – Графік зміни значень цільової функції

Далі визначаємо максимальну ступінь приналежності окремого елемента даних кластеру.

Результат розв'язання задачі нечіткої кластеризації для 4-х нечітких кластерів із використанням зазначеної послідовності команд може бути візуалізовано на рисунку 3, де представлено множини даних, що підлягають кластеризації з знайденими центрами кластерів.



а)

б)

а) множина аналізованих даних

б) множина аналізованих даних та центри кластерів

Рисунок 3 – Результати роботи алгоритму нечіткої кластеризації f_{cm}

На рисунку 4 відображені результати роботи нечіткої кластеризації з розбивкою на нечіткі кластера (функція приналежності – розбивка по яскравості, вид - трапецевидні). Візуалізація спрощує задачу експерта з аналізу зображень та зменшує ймовірність помилки.

Результати роботи нечіткої кластеризації

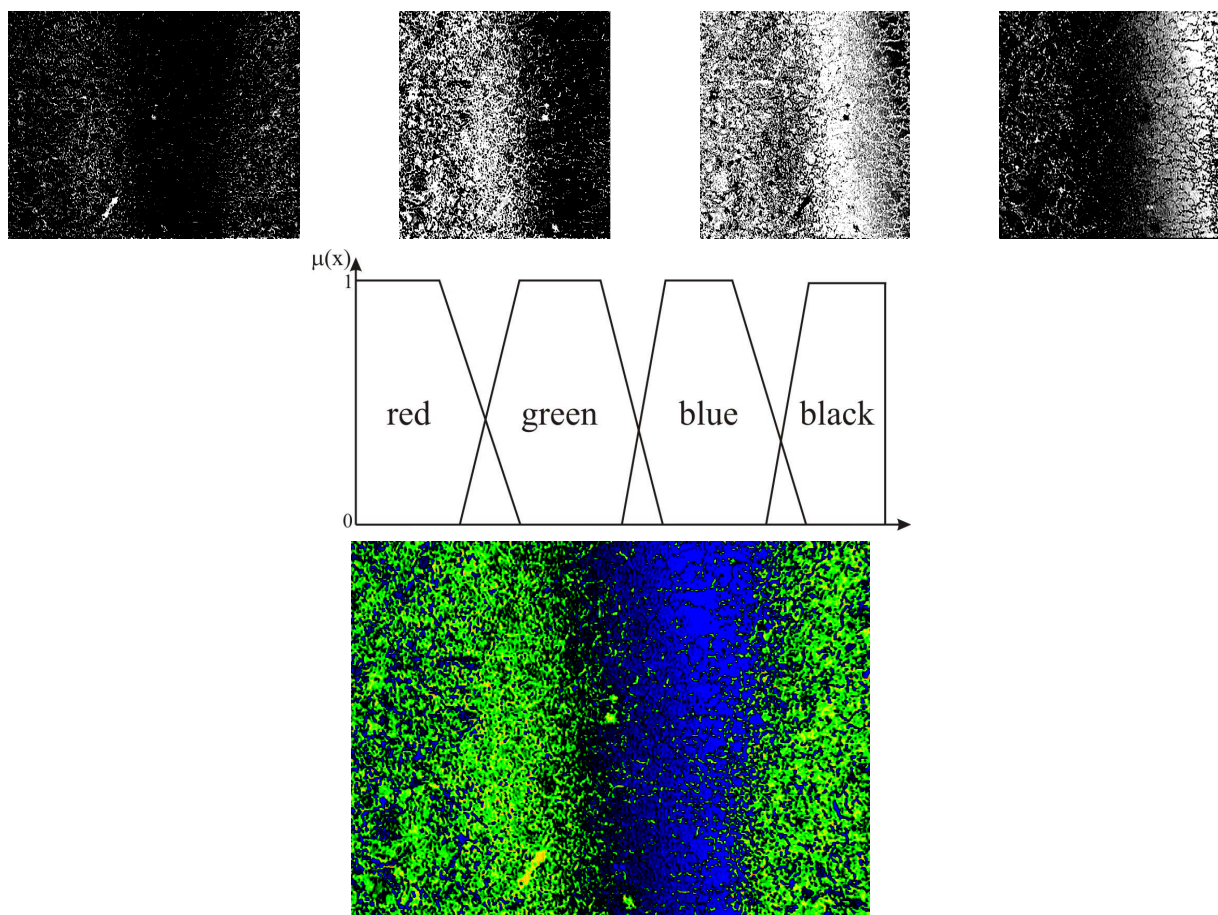


Рисунок 4

Проведемо дослідження алгоритму fcm для аналізу чорно – білого зображення зразку №111 (пл. №42380), смуга мартенсіта.

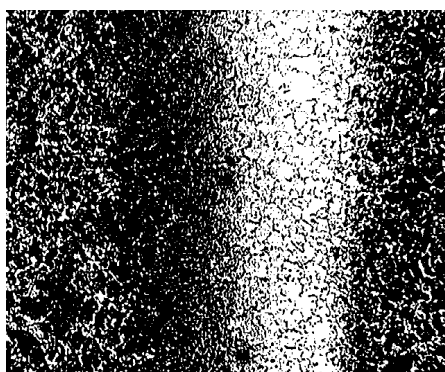


Рисунок 5 – Чорно-біле зображення зразку №111 (пл. №42380), смуга мартенсіта

Після отримання чорного-білого зображення ми створюємо цикл за допомогою якого отримуємо зображення з поданням про значення кожного пікселя. Отриманий в результаті файл будемо використовувати для подальшого дослідження, тому що дані для кластеризації повинні бути представлені в вигляді матриці чисел.

Наступним кроком дослідження є визначення центрів кластеризації, для цього застосовується функція `fcm`, яка виконується ітераційно до тих пір, поки зміни цільової функції перевищують деякий заданий поріг. На кожному кроці в командному вікні Matlab виводяться порядковий номер ітерації і відповідне поточне значення цільової функції. Якщо після запису функції `fcm` у другому рядку не ставити крапку з комою (;), то у вікні команд будуть показані значення координат центрів нечітких кластерів, значення функцій приналежності об'єктів нечітким кластерам і значення цільової функції на кожній з ітерацій роботи алгоритму FCM. У цьому прикладі використовується перший формат запису функції `fcm`.

```
>> [center,U,obj_fcn]=fcm(diplom,2);
Iteration count = 1, obj. fcn = 29667.404451
Iteration count = 2, obj. fcn = 24601.732554
Iteration count = 3, obj. fcn = 24600.740623
Iteration count = 4, obj. fcn = 24600.735477
Iteration count = 5, obj. fcn = 24600.735418
Iteration count = 6, obj. fcn = 24600.735417
>> plot(obj_fcn);
```

Для оцінки динаміки зміни значень цільової функції використовується команда побудови графіка `plot(obj_fcn)`. Результати показані на рисунку 6, з рисунку видно, що чим вище значення цільової функції `fcn` тим краще кількість ітерацій нечіткої кластеризації.

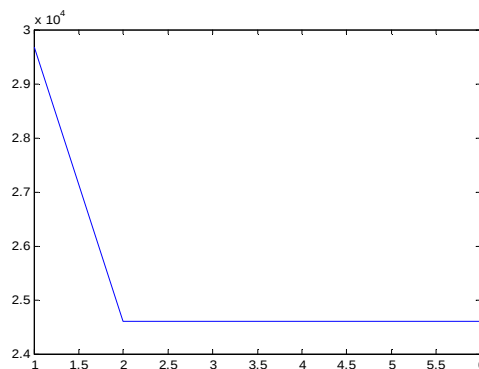


Рисунок 6 – Графік зміни значень цільової функції

Далі визначаємо максимальну ступінь приналежності окремого елемента даних кластеру.

Результат розв'язання задачі нечіткої кластеризації для 2-х нечітких кластерів із використанням зазначеної послідовності команд

може бути візуалізовано на рисунку 7, де представлено множини даних, що підлягають кластеризації з знайденими центрами кластерів.

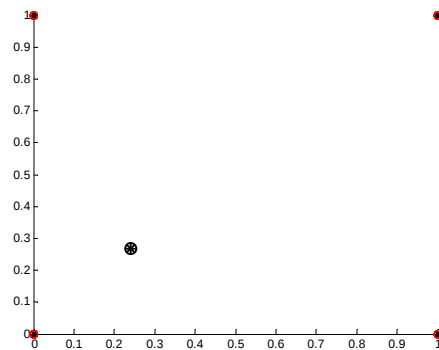


Рисунок 7 – Результат розв'язання задачі нечіткої кластеризації для 2-х нечітких кластерів

В процесі виконання дослідження було виявлено, що для аналізу кольорових зображень неможливо застосувати алгоритм субтрактивної кластеризації, тому що вхідна матриця даних повинна мати розмір $n \times 2$, далі дослідження проводились вже для чорно-білого зображення.

Для того, щоб зображення представити в потрібному форматі для подальшого дослідження, використовуючи алгоритм субтрактивної кластеризації було написано М-файл `convert.m`, який присвоює чорному кольору – нуль, а білому – одиницю.

У разі відсутності будь-яких апріорних припущень щодо кількості нечітких кластерів можна використовувати функцію командного рядка `subclust`. В результаті виконання цього фрагмента команд будуть одержані значення матриці центрів кластерів і вектора σ -значень.

```
>> [c,s]=subclust(im,[0.5 0.5],[],[1.25 0.5 0.15 1])
```

```
Normalizing data...
```

```
Computing potential for each data point...
```

```
Found cluster 1, potential = 1
```

```
Found cluster 2, potential = 0.600319
```

```
Found cluster 3, potential = 0.562503
```

```
Found cluster 4, potential = 0.457642
```

```
Found cluster 5, potential = 0.395276
```

```
c =
```

```
256.0000 189.0000
```

```
315.0000 543.0000
```

```
68.0000 172.0000
```

```
433.0000 174.0000
```

100.0000 559.0000

s = 84.6760 112.9603

Як можна помітити, для наведених значень аргументів розглянута функція `subcluster` знаходить п'ять нечітких кластерів та відображає координати їхніх центрів у командному вікні системи [3].

Висновки. Система MATLAB дозволяє вирішувати задачі нечіткої кластеризації двома способами: алгоритм FCM; алгоритм субтрактивної нечіткої кластеризації. Результати нечіткої кластеризації мають наближений характер і можуть служити лише для попередньої структуризації інформації, що міститься в множині вихідних даних. Вирішуючи задачі нечіткої кластеризації, потрібно пам'ятати про особливості та обмеження процесу вимірювання ознак у сукупності об'єктів кластеризації.

Оскільки нечіткі кластери формуються на основі евклідової метрики, відповідний простір ознак має задовольняти аксіомам метричного простору. У той же час для пошуку закономірностей в проблемній області, що мають не метричний характер, необхідно використовувати спеціальні засоби та інструментарій, розроблені для інтелектуального аналізу даних (Data Mining).

Алгоритми нечіткої кластеризації дозволяють розбити досліджувані об'єкти на нечіткі кластери, а нечіткі кластери в свою чергу можуть бути візуалізовані шляхом управління рівнем яскравості відповідних кольорів, аналогічним функції приналежності. Візуалізація спрощує завдання експерта з аналізу зображень і зменшує ймовірність помилки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Райзина. – М.: Мир, 1980. – 392 с.
2. Мандель Н.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 736с.: ил.

В.М. Пахомова, Т.І. Скабалланович, К.О. Алексеев

МОЖЛИВІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ БЕЗПРОВІДНИХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Анотація. Встановлені переваги та недоліки безпроводних локальних мереж (WLAN), які базуються на стандарті IEEE 802.11, визначені його основні параметри. Виконано зіставлення технологій Wi-Fi і Bluetooth. Подані рекомендації по вибору топології WLAN та методології їх подальшого розгортання в умовах існуючих інформаційних систем залізничного транспорту. Розроблена формальна модель процесу доступу станції WLAN до середовища в режимі розподіленої функції координатії DCF.

Ключові слова: мережа ESS, методологія розгортання WLAN, режим DCF.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день безпроводні мережі стрімко розвиваються і витісняють на другий план дротяні мережі. Продовжують впроваджуватися безпроводні мережі і на залізничному транспорті України. Безпроводні мережі мають переваги: низька вартість і гнучкість застосування устаткування; забезпечення мобільності користувачам; зняття обмеження на максимальну протяжність мережі, що накладаються мідними і оптоволоконними кабелями; висока швидкість передачі даних; можливість підключення безпроводної локальної мережі до дротяної; доступ до необхідних ресурсів і даних в реальному масштабі часу; зменшення часу реакції на запити і зміни зовнішнього середовища; кількість користувачів необмежена.

Проте за ці переваги безпроводні мережі розплачуються переліком проблем, які несе з собою нестійке і непередбачуване безпроводне середовище: перешкоди від різноманітних побутових приладів і інших телекомунікаційних систем; атмосферні завади і віддзеркалення сигналу створюють серйозні труднощі для надійного прийому інформації; сильне поглинання радіохвиль залізобетоном і деякими іншими матеріалами призводить до послаблення сигналу. У таких несприятливих умовах швидкість з'єднання плаває і з'єднання часто

рветься. Крім того, необхідно відзначити низький рівень інформаційної безпеки. З урахуванням достоїнств і недоліків доцільно проаналізувати існуючі на сьогодні технології безпроводних мереж з метою їх подальшого впровадження на залізничному транспорті України.

Аналіз публікацій по темі дослідження

Класифікувати безпроводні мережі прийнято по радіусу дії [1]: персональні безпроводні мережі (WPAN – Wireless Personal Area Network), локальні безпроводні мережі (WLAN – Wireless Local Area Network), регіональні безпроводні мережі (WMAN – Wireless Metropolitan Area Network), глобальні безпроводні мережі (WWAN – Wireless Wide Area Network).

Найбільш поширеною технологією локальних мереж є Wi-Fi, єдиною альтернативою якої виступає Bluetooth, у зв'язку з чим виконано зіставлення цих технологій [1-6].

1) *Сфера застосування.* Wi-Fi – стандарт, основним призначенням якого є позбавлення від зайвих дротів. Використання Wi-Fi допомагає швидко створити ефективну мережу, скоротити витрати на її побудову за рахунок економії на прокладенні дротів. Bluetooth створювався як стандарт безпроводної передачі даних між двома пристроями – мобільними телефонами, КПК або комп'ютерами.

2) *Ефективний радіус дії.* Радіус дії точки доступу Wi-Fi на відкритому повітрі складає 300 м, радіус дії у пристроїв стандарту Bluetooth – 30 м.

3) *Установка і налаштування.* Пристрої Bluetooth не вимагають ніякої конфігурації після установки, оскільки робота пристроїв цього стандарту проста. Wi-Fi же вимагає налаштування параметрів безпроводної мережі.

4) *Тип мережі.* Wi-Fi використовується для створення WLAN, в якій може бути велика кількість різних пристроїв. У випадку ж з Bluetooth – можна створити лише персональну мережу, обмежену двома пристроями.

Для порівняння технології Wi-Fi вибрані чотири стандарти 802.11 (a, b, g, n), для Bluetooth – остання на даний момент версія 4.0, підсумок зіставлення представлений табл. 1 [1].

Зіставлення технологій Wi-Fi і Bluetooth

Стандарт IEEE	Рік затвердження	Діапазон частот, ГГц	Швидкість, Мбіт/с	Мобільність	Ефективний радіус дії, м
802.11a	1999	5.15-5.35; 5.725-5.825	До 54	Так	90
802.11b	1999	2.4-2.4835	До 11	Так	270
802.11g	2003	2.4-2.4835	До 54	Так	140
802.11n	2009	2.4;5	До 480	Так	300
802.15.1 (v.4.0)	2010	2,4	1	Так	100

Як видно з табл. 1, "синій зуб" програє Wi-Fi за усіма пунктами, з цього слідує що на залізничному транспорті використовувати локальні мережі на основі Bluetooth не доцільно.

Формулювання цілей статті

Виконати аналіз існуючих топологій безпроводних локальних мереж, методологій їх подальшого розгортання та дати відповідні рекомендації до можливого використання в інформаційних системах на залізничному транспорті. Вивчити режими доступу до середовища, які підтримує рівень MAC за стандартом IEEE 802.11 та розробити відповідну формальну модель станції WLAN в режимі розподіленої функції координації.

Основна частина

1. Аналіз топологій WLAN. Існує три топології безпроводних локальних мереж: незалежні базові зони обслуговування (Independent Basic Service Sets, IBSS), базові зони обслуговування (Basic Service Sets, BSS), розширені зони обслуговування (Extended Service Sets, ESS) [4-6].

Мережа IBSS – це група станцій, що працюють відповідно до стандарту IEEE 802.11, які зв'язуються безпосередньо одна з іншою. На рис. 1 показано, як дві станції, обладнані безпроводними мережевими інтерфейсними картами (network interface card, NIC) стандарту IEEE 802.11, можуть формувати IBSS і безпосередньо зв'язуватися одна з іншою. При створенні таких мереж не розробляють які-небудь карти місця їх розгортання і попередні плани, тому вони зазвичай

невеликі і мають обмежену протяжність, достатню для передачі спільно використовуваних даних при виникненні такої необхідності. Не існує яких-небудь обумовлених стандартом обмежень на кількість пристроїв, які можуть входити в одну незалежну базову зону обслуговування. Але, оскільки кожен пристрій є клієнтом, часто певне число членів IBSS не може зв'язуватися один з іншим внаслідок проблеми прихованого вузла (hidden node issue).



Рисунок 1 - Мережа IBSS

Мережа BSS - це група станцій, що працюють за стандартом IEEE 802.11, які зв'язуються одна з іншою за допомогою особливої станції, яка називається точка доступу (access point), це центральний пункт зв'язку для усіх станцій BSS. Як правило точка доступу є стаціонарною і діє на фіксованому каналі. Клієнтські станції не зв'язуються безпосередньо одна з іншою. Замість цього вони зв'язуються з точкою доступу, а вже вона направляє фрейми станції-адресатові. Точка доступу може мати порт висхідного каналу (uplink port), через який BSS підключається до дротяної мережі (наприклад, висхідний канал Ethernet), тому BSS іноді називають інфраструктурою BSS, яка представлена на рис. 2.

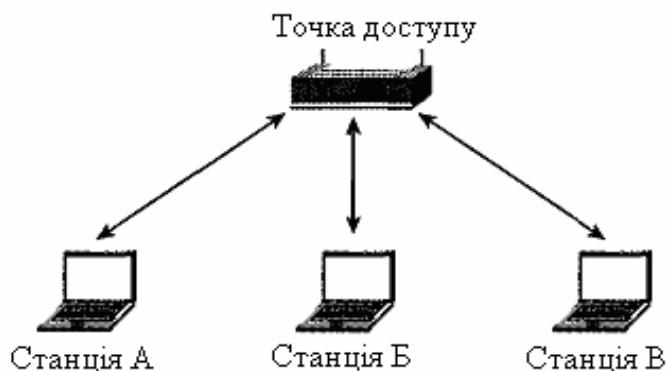


Рисунок 2 - Інфраструктура BSS

Мережа ESS. Декілька інфраструктур BSS можуть бути сполучені через їх інтерфейси висхідного каналу. Там, де діє стандарт IEEE 802.11, інтерфейс висхідного каналу сполучає BSS з розподільною системою (Distribution System, DS). Декілька BSS, сполучених між собою через розподільну систему, утворюють розширену зону обслуговування. Висхідний канал до розподільної системи не обов'язково по-

винний використовувати дротяне з'єднання. На рис. 3 представлений приклад практичного втілення ESS.

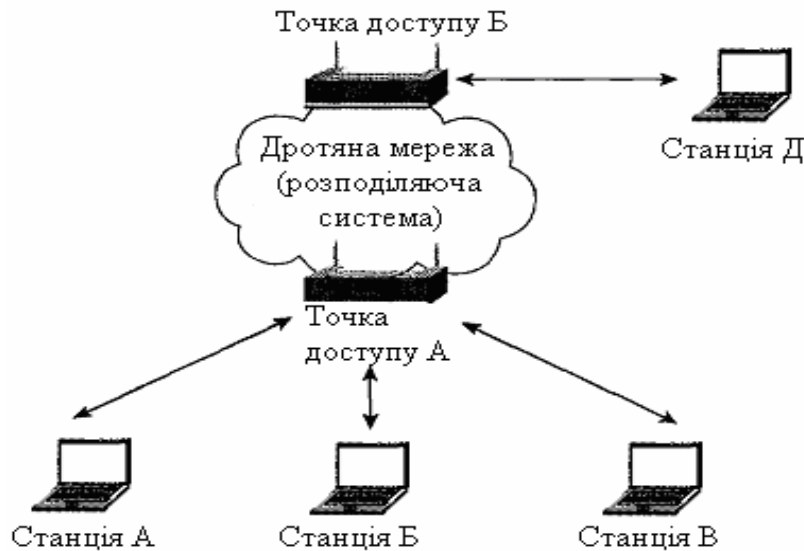


Рисунок 3 – Розширена зона ESS

Специфікація стандарту IEEE 802.11 залишає можливість реалізації цього каналу у вигляді безпроводного, але частіше висхідними каналами до розподільної системи є канали дротяної Ethernet [2-4], це підтверджує доцільність застосування розширених зон обслуговування ESS на залізничному транспорті. Окрім того, можливо використання пропонуванних технологій безпроводних мереж(це підтверджується ефективним радіусом дії) для реалізації мобільного зв'язку на станціях залізничного транспорту.

2. Аналіз методологій розгортання WLAN. Існують дві основні методології розгортання WLAN: орієнтована на максимальну зону обслуговування й орієнтована на максимальну пропускну спроможність.

WLAN, орієнтовані на зону обслуговування розробляються з упором на забезпечення максимального покриття при мінімально можливій кількості точок доступу. У типовій орієнтованій на зону обслуговування мережі забезпечується співвідношення кількості користувачів до точок доступу 25:1 [4-6]. На залізничному транспорті перша методологія розгортання WLAN припустима в тих інформаційних системах, які застосовують додатки пульсуючого типу з низькою швидкістю передачі пакетів і додатки, що формують запити до баз даних, а також потребують низькі вимоги до смуги пропускання, завдяки чому швидкість передачі даних може бути зменшена до най-

менших значень, таких як 1 і 2 Мбіт/с, та легкість супроводу, оскільки персонал обслуговування WLAN невеликий або відсутній зовсім.

WLAN, орієнтовані на високу пропускну спроможність повинні забезпечувати максимальну продуктивність і швидкість передачі пакетів для кожного клієнта ESS. Розміри сот орієнтованих на пропускну спроможність WLAN менше, ніж такі для WLAN, призначення якої забезпечити максимальну зону обслуговування, відповідно щільність розміщення точок доступу вища (звичайна кількість точок в два рази більше ніж в мережах орієнтованих на максимальну зону обслуговування) [4-6]. Таким чином, на залізничному транспорті друга методологія розгортання WLAN потрібна у випадках, коли використовуються додатки, що вимагають високої швидкості передачі пакетів або чутливі до затримок, коли розгортаються підмережі менших масштабів або спостерігається висока щільність розміщення клієнтів.

3. Розробка формальної моделі станції WLAN в режимі DCF. Стандарт IEEE 802.11 описує рівень MAC, який підтримує два режими доступу до розподіленого середовища: режим розподіленої функції координації DCF (Distributed Coordination Function) і режим точкової функції координації PCF (Point Coordination Function) [3]. Підтримка режиму DCF обов'язкова і заснована на протоколі, що забезпечує множинний доступ з контролем несучої і запобіганням колізії (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA), тому розроблена діаграма станів станції мережі саме в режимі DCF, яка представлена на рис. 4.

В режимі DCF станції вступають в конкуренцію за право доступу до середовища і намагаються передати фрейми, якщо в цей час ніяка інша станція не здійснює передачу. Якщо якась станція передає фрейм, інші чекають звільнення каналу. Як умова доступу до середовища рівень MAC перевіряє значення свого вектора розподілу мережі (Network Allocation Vector, NAV), який є розміщеним на кожній станції лічильником, значення якого відповідає часу, необхідному для передачі попереднього фрейма. Значення NAV має дорівнювати нулю, щоб станція могла спробувати відправити фрейм. Перш ніж послати фрейм, станція обчислює необхідний для його передачі час, який знаходиться в полі тривалості заголовка фрейма. Коли ста-

нція отримує фрейм, вона перевіряє значення в його полі тривалості і використовує його як основу для установки своїх NAV [4].



Рисунок 4 - Діаграма станів станції WLAN в режимі DCF

Важливим аспектом режиму DCF є таймер випадкової затримки, який станція використовує, коли середовище передачі виявляється зайнятим. При використанні випадкового алгоритму затримки вибирається значення в діапазоні від 0 до значення, відповідного ширині вікна конкуренції. Випадкове значення є кількість каналних інтервалів за стандартом IEEE 802.11, протягом яких станція, вже після звільнення середовища у вікні конкуренції, повинна утримуватися від передачі. Канальний інтервал (slot time) – це значення часу, визначуване параметрами фізичного рівня, заснованими на характеристиках радіочастотного каналу BSS. Із-за випадкової затримки різні станції чекають права на передачу протягом різних періодів часу, тому не перевіряють середовище на зайнятість в один і той же момент часу і, виявивши, що канал вільний, не починають передачу, створюючи тим самим колізію. Таймер випадкової затримки істотно знижує число колізій і, відповідно, повторних передач, особливо коли кількість активних користувачів велика [2-6].

Висновки й перспективи подальших досліджень

Безпроводні локальні мережі, як альтернатива д्रोсяних мереж, впроваджуються в існуючі інформаційні системи на залізничному транспорті. Використання технологій WLAN можливо для реалізації мобільного зв'язку на станціях залізничного транспорту. Із топологій WLAN рекомендовані розширені зони обслуговування, для їх розгортання доречне використання як методології, яка орієнтована на максимальну зону обслуговування, так і методології що орієнтована на максимальну пропускну спроможність, наведені до цього відповідні умови. Технологія WLAN відповідає стандарту 802.11, рівень MAC якого підтримує два режими доступу до розподіленого середовища. Оскільки режим розподіленої функції координації DCF обов'язковий розроблена діаграма станів станції WLAN в цьому режимі, яка надалі буде покладена в основу імітаційної моделі для визначення відповідних характеристик мереж на етапі інформатизації систем на залізничному транспорті України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Холоша С. - <http://www.friendlypc.ru/wi-fi-i-bluetooth-v-chem-razlichie>.
2. Таненбаум, Е. Комп'ютерні мережі [Текст] / Е.Таненбаум. – СПб: Пітер, 2003. – 992 с.
3. Гейер, Джим. Безпроводні мережі. Перший крок: пер. з англ. [Текст] / Д. Гейер. – М.: Видавничий дім "Вільямс", 2005. – 192 с.
4. Олифер, В. Г. Комп'ютерні мережі. Принципи, технології, протоколи: підручник для вnz. [Текст] / В. Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб: Пітер, 2010. – 944 с.
5. Вишнівський, В. М. Широкосмугові безпроводні мережі передачі інформації [Текст] / В. М. Вишнівський, А.І. Ляхів, С. Л. Кравець, І.В. Шахнович. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
6. Прохоров, О. Ринок безпроводних мереж в цифрах і фактах / О. Прохоров. – КомпьютерПресс.

А.В. Рудакова, Н.В. Сарафанникова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ СВОЙСТВ БОЛЬШИХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье анализируется возможность применения фрактальных свойств больших распределенных систем для унификации моделей на разных уровнях иерархической системы управления. Предлагается использовать непрерывные модели в виде поверхности запаса ресурса, на основе которой можно оценивать состояние системы. Рассмотрены метод определения времени, отведенного на стабилизацию ситуации в системе, и возможные мероприятия при управлении системой в критическом режиме.

Ключевые слова. Распределенные производственные комплексы, фрактальные свойства, непрерывная модель, время стабилизации, иерархическая система управления, поверхность запаса ресурса, режим функционирования

Постановка проблемы

Современные производственные системы представляют собой сложные, многосвязные, пространственно распределенные иерархические объекты, функционирующие в условиях переменности их структуры, параметров и режимов работы при многочисленных внешних и внутренних возмущениях как систематического, так и случайного характера. Это определяет сложность задач оперативного управления современными промышленными комплексами в различных режимах функционирования, в которых все чаще наблюдаются сбои различного характера.

Анализ публикаций

В результате эволюции производственных систем на сегодняшний день возник новый класс объектов. Это большие системы, структура которых постоянно развивается и усложняется. Примером таких систем являются энергетические системы, системы связи и телекоммуникаций, информационные системы и другие. Особенностью боль-

ших систем является их склонность к глобальным катастрофам, что подтверждается участившимися авариями в энергосистемах, транспортных системах, системах связи, материального снабжения.

Основная особенность больших распределенных производственных комплексов, к которым относятся системы транспортировки разнообразных ресурсов, заключается в неразрывной связи отдельных элементов, в единстве технологических процессов, которые нуждаются в их общем управлении [1].

Объединенное управление режимами работы интегрированной системы осуществляется диспетчерским управлением, при котором для выполнения задач оперативного управления необходимо постоянно оценивать ее состояние и прогнозировать возможный переход системы в критический режим функционирования. Системы диспетчерского управления распределенными комплексами имеют иерархическую структуру. Логика связей системы управления большими распределенными объектами включает в себя [2]: автоматизированные системы диспетчерского управления (АСДУ), которые функционируют на всех уровнях оперативного управления (в объединенных системах, предприятиях отраслевых сетей, районных сетях); автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) разного уровня; локальные системы автоматического управления (САУ).

Характерным для всех систем диспетчерского управления является то, что с переходом от нижнего звена иерархии к верхнему функции управления расширяются за счет увеличения объема и усложнения задач по ведению режима, при этом доля оперативных задач относительно сокращается, но ответственность за их исполнение возрастает.

Проблемы управления большими развивающимися системами возникают в связи с трудностями оперативного управления при оптимизации параметров их функционирования. Использование традиционных дискретных моделей для анализа всех взаимосвязей между параметрами режима и накладываемых на них ограничений, настолько усложняет постановку задачи, что даже при использовании современных ЭВМ она оказывается слишком громоздкой [3]. Существующие модели больших систем являются дискретными или дискретизированными с целью линеаризации задачи, имеют бесконечную

размерность и оптимизация функционирования таких сетей методами динамического или линейного программирования является задачей, которая занимает большое количество времени и нуждается в огромных ресурсах ЭВМ [4]. В реальном времени быстрый расчет оптимального управления с использованием данных моделей невозможен. Наряду с этим, в больших территориально распределенных системах транспортировки постоянно происходит изменение конфигурации (переключение объектов) и расширение самой системы за счет добавления новых объектов, что приводит к росту размерности вектора состояний и неопределенности в модели, так как точное описание динамически изменяющейся системы невозможно.

Постановка задачи

Целью исследований является поиск методов решения задач оперативного управления на всех уровнях иерархической системы, которые позволяют достоверно анализировать поведение системы и своевременно принимать решения в различных режимах функционирования.

Основная часть

В сложных иерархических территориально рассредоточенных системах распределение и транспортировка ресурса осуществляется от верхних уровней к низшим, которые в свою очередь получают определенное количество ресурса и становятся поставщиками ресурса для следующего уровня потребителей. Каждый уровень характеризуется определенным количеством ресурса и может быть описан с помощью пары категорий: источник и потребитель ресурса. При этом потребитель предыдущего уровня на следующем уровне становится источником ресурса. С повышением уровня число потребителей, которые питаются от источника, и количество распределяемого по ветвям ресурса возрастает. В системах транспортировки с уменьшением масштаба уменьшается и величина (количество) ресурса, который распределяется от источника к потребителям. Для описания больших систем транспортировки и распределения ресурсов с такой самоподобной структурой целесообразно использовать древовидный конструктивный фрактал.

Для построения конструктивных фракталов характерно задавать «основу» и «фрагмент», который повторяется при каждом уменьшении масштаба. Для рассматриваемых систем характерный

фрагмент имеет вид дерева [5]. Ветви изображают линии транспортировки, а два узла, которые соединяются одной ветвью, рассматриваются как пара: источник - потребитель. Описание отношений, которое осуществляется в категориях «источник – потребитель», для всех уровней является идентичным, что соответствует определению фрактальности (рис. 1). Фрактальность структуры дает возможность упрощения математического описания всей системы, так как описание различных частей системы будет одинаковым и идентичным описанию всей системы на соответствующем уровне.

В процессе функционирования больших распределенных систем необходимо изменять перенаправление ресурса между узлами потребителей (С) и поставщиков (Д) для поддержания необходимого баланса в системе. Из-за этого топология фрактальной структуры динамически изменяется; узел из категории потребителя может перейти на некоторое время в категорию поставщика (источника), так как все получаемое количество ресурса он не потребляет, а отдает дальше по фракталу или соседним узлам того же уровня. Так как всегда сохраняется отношение «источник-потребитель» - свойство фрактальности не исчезает, оно проявляется не в физической связи узлов линиями передачи ресурса, а в динамике происходящих процессов распределения ресурсов.

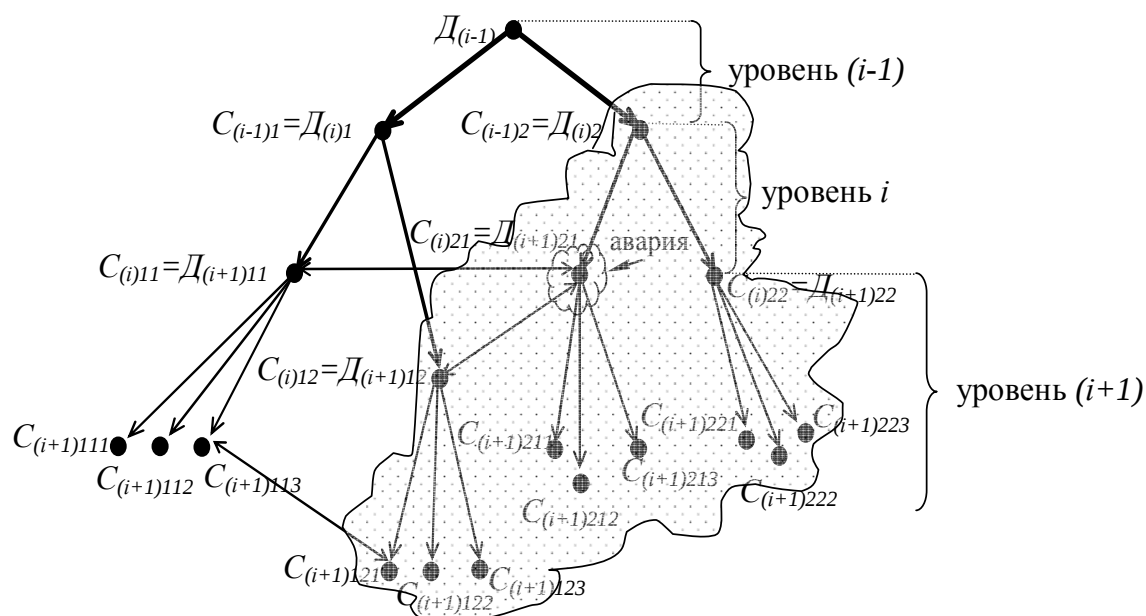


Рисунок 1 – Структура системы с областью возможного распространения аварии

Идентификация точки (узла) возможного зарождения катастрофы дает возможность спрогнозировать направление развития аварии и определить границы возможного распространения аварии. На рис. 1 точка возможного возникновения аварии на территориальной картографической плоскости совпала с узлом $C_{(i)21}=D_{(i+1)21}$ катастрофа будет развиваться в направлении распространения ресурса от верхних уровней иерархии к нижним уровням фрактала, т.е. по узлам $C_{(i+1)211}$, $C_{(i+1)212}$, $C_{(i+1)213}$ следующего низшего уровня фрактала $(i+1)$, снабжение которых зависит от источника $D_{(i+1)21}$. Узел $C_{(i)12}=D_{(i+1)12}$ также подпадает под область распространения аварии в случае, если на это время по запланированным графикам распространения ресурса узел $C_{(i)21}=D_{(i+1)21}$ является поставщиком для него. Соответственно узлы $C_{(i+1)121}$, $C_{(i+1)122}$, $C_{(i+1)123}$, которые питаются от источника $D_{(i+1)12}$, также подпадают под категорию возможного распространения аварии. При нарушении баланса может возникнуть перенагрузка и в верхнем узле $C_{(i-1)2}=D_{(i)2}$, который является источником для аварийного узла потребителя $C_{(i)21}$. В свою очередь, перенагрузка в узле $C_{(i-1)2}=D_{(i)2}$ провоцирует распространение аварии на узлы, которые входят в этот сегмент фрактала, а именно $C_{(i)22}=D_{(i+1)22}$, и дальше уже на узлы $C_{(i+1)221}$, $C_{(i+1)222}$, $C_{(i+1)223}$.

При решении задач управления целесообразно применять понятие запаса ресурса, которое дает возможность оценить баланс (разность) между обеспечением (поставкой) и потреблением ресурса и выявить возможную точку разрастания катастрофы. Для территориально распределенных систем удобнее применять модели запаса, снабжения и потребления в непрерывной форме в виде аппроксимирующих оболочек [6], которые дают возможность описать такую структуру, упростить анализ поведения системы и быстро рассчитать оптимальный закон управления в критических и аварийных режимах функционирования.

Непрерывная модель запаса ресурса большой территориально распределенной системы представляет собой динамически изменяющуюся поверхность $Z(x, y, t)$, аппроксимирующую существенные параметры функционирования системы, которая может получаться как разность поверхности снабжения $D(x, y, t)$ и поверхности потребления $C(x, y, t)$ в заданном регионе $(x, y) \in \Omega$:

$$Z(x, y, t) = D(x, y, t) - C(x, y, t). \quad (1)$$

Так, существенным параметром функционирования в энергетических системах является уровень подаваемой (потребляемой) мощности электрической энергии; для систем управления водораспределением при орошении (мелиорации) – уровень влажности почв, связанный с объемами поступающей (в том числе и в виде осадков) воды и объемами влаги потребляемой растениями, испаряемой с поверхности, проходящей в нижние слои почвы; при управлении запасами распределенной сети торговых предприятий – объем запасов товарной продукции на складах и т.п.

Оценить состояние системы на любом уровне можно с помощью проверки условия нормального функционирования системы [7]:

$$Z_{\min} < Z(x, y, t) < Z_{\max}. \quad (2)$$

Переход в критический режим функционирования соответствует выходу поверхности за предельно допустимые уровни значения существенного параметра – $Z_{\min}$ и $Z_{\max}$.

При выявлении узла, который может быть точкой начала катастрофы, можно очертить область ее распространения и для сохранения работоспособности оборудования систем транспортировки применить все возможные меры по повышению уровня запаса ресурса. Если своевременно не принять меры по стабилизации ситуации, то предаварийная ситуация перерастет в аварию, а авария за очень короткий срок разовьется в катастрофу.

Время стабилизации t_{CT} , в течение которого необходимо рассчитать оптимальное управление для нормализации состояния большой системы в критическом режиме, можно оценить по скорости изменения поверхности запаса ресурса $Z(x, y, t)$:

$$t_{CT} = \left| \frac{Z_{\min(\max)} - Z(x, y, t)}{\dot{Z}(x, y, t)} \right|. \quad (3)$$

Стабилизировать (оптимизировать) состояние распределенной системы можно управляя параметрами функционирования подсистем путем возвращения непрерывной поверхности $Z(x, y, t)$ в допустимый диапазон в условиях дефицита времени $t < t_{CT}$ (или без жестких ограничений на время) за счет увеличения (уменьшения) уровня поверх-

ности снабжения $D(x, y, t)$ (потребления $C(x, y, t)$) в заданном регионе $(x, y) \in \Omega$.

Поднять уровень поверхности запаса ресурса в той точке, где он меньше допустимого значения, можно за счет следующих мероприятий: 1) повышение мощности источника на предыдущем уровне фрактала; 2) подключение аварийного узла к автономному источнику ресурса (АИР), (рис. 2а); 3) изменение топологии сети путем полного или частичного отключения некоторых потребителей, для которых это возможно (рис. 2б); 4) изменение топологии сети за счет подключения аварийного узла сегмента к узлу другого сегмента фрактала (рис. 2в).

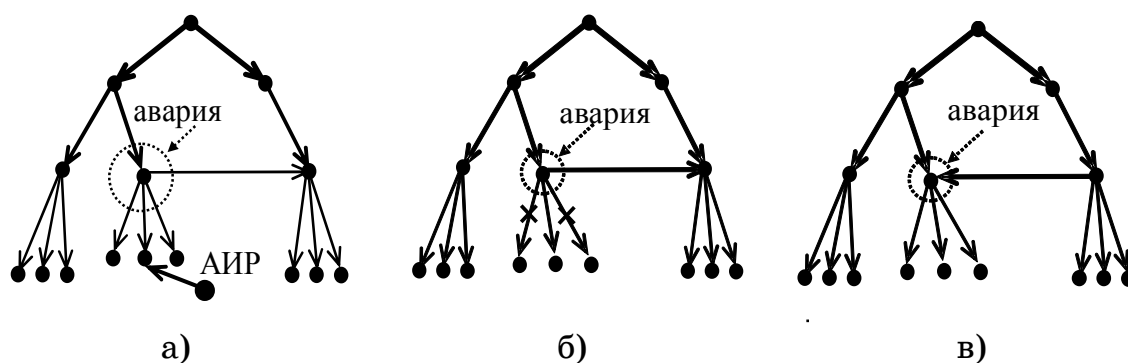


Рисунок 2 – Способы повышения уровня поверхности запаса ресурса

Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий и анализа состояния системы после рекомендованных переподключений необходимо провести моделирование для прогноза параметров функционирования системы на проблемных уровнях иерархии распределенной системы. Это предполагает наличие методов формирования непрерывных моделей распределенных объектов, использование которых дает возможность для нахождения оптимального управления в больших системах применять методы вариационного исчисления.

Выводы

Фрактальность структуры иерархических распределенных систем дает возможность упрощения математического описания всей системы, так как описание различных частей системы будет одинаковым и идентичным описанию всей системы на соответствующем уровне. Благодаря самоподобным свойствам их узлов и возможности анализа уровня запаса ресурсов упрощается процесс выявления уз-

лов, которые функционируют в критическом режиме, и прогнозирования времени стабилизации ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Рюмшин Н.А. Интегрированные АСУ в промышленности. – К.: НПК «Киевский институт автоматики», 1995. – 316с.
2. Войтов О.Н., Воронин В.Н., Гамм А.З. и др. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления электроэнергетическими системами. - Новосибирск: Наука, 1986. - 205с.
3. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления. / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744с.
4. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; Т.5: Методы современной теории автоматического управления. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова.- М.: Издательство МПУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784с.
5. Головащенко Н.В. Енергосистема як об'єкт управління з фрактальною структурою / Головащенко Н.В., Рудакова Г.В., Саратовцева І.В. // ААЕКС . – 2006. – № 1(17). – С.164 – 170.
6. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Моделювання енергосистеми як об'єкта управління. // Муниципальная энергетика: проблемы, решения: Материалы международной научно-технической конференции. 21-22 грудня 2005р. Миколаїв. – С.130-134.
7. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Оптимальное управление великою електроенергетичною системою в режимі катастрофи: матеріали XIII міжнародної конференції з автоматичного управління [“Автоматика-2006”], (Вінниця, 25–28 вересня 2006р.) / М-во освіти і науки України, Вінн. нац. тех. ун-т. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2007. – С.139–143.

А.В. Селіванова, А.П. Селіванов, Т.Л. Мазурок

НЕЙРО-НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ ХОЛОДИЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

Анотація. У цій роботі показано, що, незважаючи на високу міру автоматизації холодильних установок, необхідний висококваліфікований персонал для їх обслуговування, обґрунтована необхідність моделювання управління холодильною установкою для комп'ютерного тренажера і описана побудована гібридна модель управління.

Ключові слова : моделювання, управління, гібридна модель, холодильна установка, комп'ютерний тренажер

Вступ

Холодильні установки характеризуються безперервністю процесів, що в них протікають. При цьому вироблення холоду у будь-який момент часу повинно відповідати споживанню. Майже усі операції на холодильних установках механізовані, а перехідні процеси в них розвиваються порівняно швидко. Цим пояснюється високий розвиток автоматизації в охолоджувальній техніці.

По мірі автоматизації холодильні машини і установки діляться на 3 групи: холодильне устаткування з ручним управлінням, частково автоматизоване холодильне устаткування, повністю автоматизоване холодильне устаткування. Устаткування з ручним управлінням і частково автоматизовані машини працюють з постійною присутністю обслуговуючого персоналу. Повністю автоматизоване устаткування не вимагає постійної присутності обслуговуючого персоналу, але не виключає необхідності періодичних контрольних оглядів і перевірок за встановленим регламентом. По рівню автоматизації компресорні холодильні установки займають одно з провідних місць серед інших галузей промисловості. У автоматизованому процесі виробництва роль людини зводиться до наладки, регулювання, обслуговуванні засобів автоматизації і спостереженню за їх дією. Проте експлуатація засобів

автоматизації вимагає від обслуговуючого персоналу високої техніки і кваліфікації.

Забезпечити високий рівень підготовки, мінімальні експлуатаційні витрати і безпеку учнів при навчанні на реальному промисловому об'єкті укр. складно. Вирішенням проблеми є використання комп'ютерних тренажерів для підготовки операторів холодильних установок.

Комп'ютерний тренажер повинен містити якісну адекватну еталонну модель управління холодильною установкою. При моделюванні управління складними об'єктами досить конструктивною вважається технологія нечіткого моделювання, оскільки за останнє десятиліття на її основі були вирішені сотні практичних завдань управління і ухвалення рішень [2]. У роботі [1] показані переваги використання нечіткої логіки при управлінні процесом обробки рідкого аміаку в холодильній установці Одеського припортового заводу.

При побудові нечіткої моделі управління холодильною установкою для комп'ютерного тренажера виникають складнощі при заповненні бази нечітких правил продукцій. Знання, отримані від експертів складно формалізувати, а базу правил позбавити від суперечності і неповноти. В результаті отримана модель виявляється недостатньо адекватною [3].

Постановка задачі

Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі покликані об'єднати в собі достоїнства нейронних мереж і систем нечіткого виводу. З одного боку, вони дозволяють розробляти і представляти моделі систем у формі правил нечітких продукцій, які мають наочність і простоту змістовної інтерпретації. З іншого боку, для побудови правил нечітких продукцій використовуються методи нейронних мереж, що є зручнішим і менш трудомістким процесом для системних аналітиків.

У останній час апарат гібридних мереж всюди визнається фахівцями як один з найбільш перспективних для вирішення слабо або погано структурованих задач прикладного системного аналізу [2].

У зв'язку з цим ставиться задача створити нейро-нечітку модель управління холодильною установкою для використання у комп'ютерному тренажері.

Матеріал і результати дослідження

Основна ідея, покладена в основу моделі гібридних мереж, полягає в тому, щоб використати існуючу вибірку даних для визначення параметрів функцій приладдя, яке краще всього відповідає деякій системі нечіткого виведення. При цьому для знаходження параметрів функцій приналежності використовуються відомі процедури навчання нейронних мереж[2].

У загальному вигляді спрощена модель управління холодильною установкою може бути описана рівнянням $Y=F(X)$, де

Y - вихідний параметр, який описує міру відкриття регулюючого вентиля подання холодильного агента в систему;

X - вектор входів, $X=\{x_1, x_2\}$

x_1 - температура в камері;

x_2 - швидкість зміни температури x_1 ;

Для створення гібридної мережі використаний пакет Fuzzy Logic Toolbox системи MATLAB, в якому гібридні мережі реалізовані у формі адаптивних систем нейро-нечіткого виведення ANFIS.

В якості початкових навчальних даних використані експериментальні дані по експлуатації одноступінчатої аміачної холодильної установки для зберігання молочної продукції.

Основним завданням холодильної установки є підтримка певного температурного режиму в холодильній камері, тому входні параметри представлені лінгвістичними змінними:

tkam - "температура в камері";

vtkam - "швидкість зміни температури в камері".

Вихідною змінною є змінна gv - "міра відкриття регулюючого вентиля".

Після підготовки і завантаження навчальних даних згенерована структура системи нечіткого виведення типу Сугено, яка є моделлю гібридної мережі в системі MATLAB представлена на рис 1.

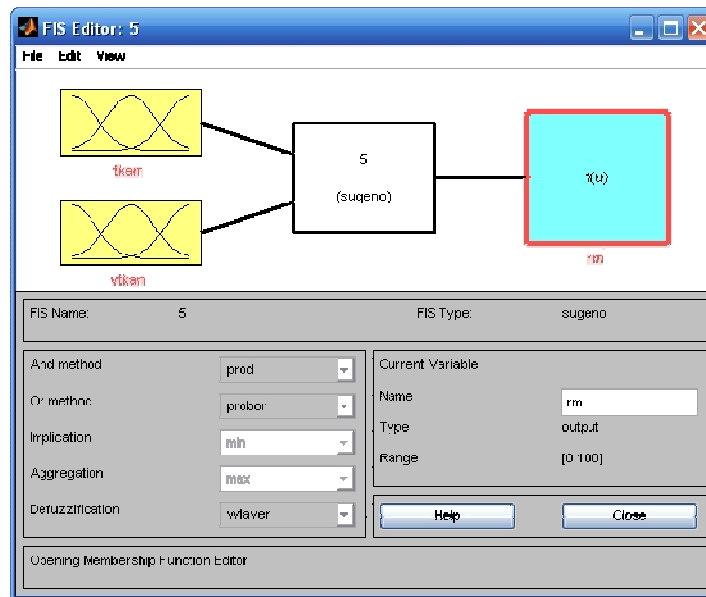


Рисунок 1 – Система нечіткого виведення

При створенні структури входні змінні були незалежно розбиті на області їх значень. Структура отриманої системи нечіткого виведення представлена на рис. 2.

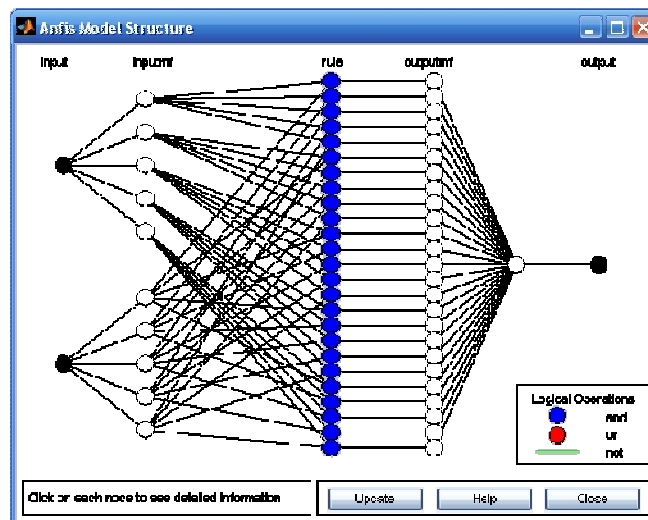


Рисунок 2 – Структура системи нечіткого виведення

Навчання мережі проводилося за допомогою гібридного методу, що є комбінацією методу найменших квадратів і методу убунання квадратного градієнта. Було зроблено 300 циклів. Графік залежності помилок навчання від кількості циклів навчання представлений на рис 3.

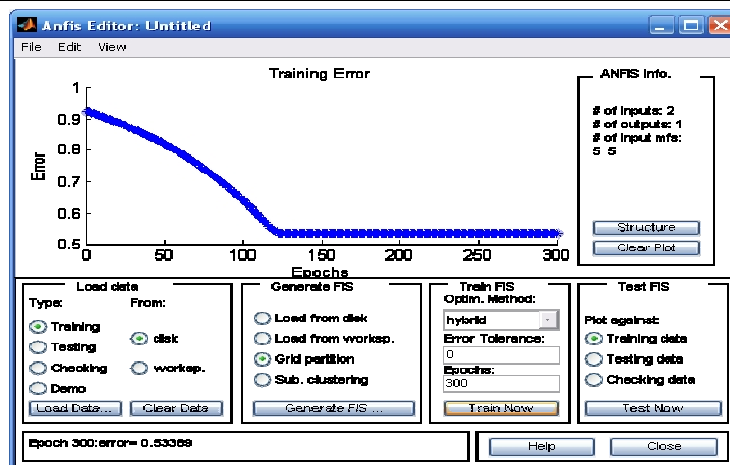


Рисунок 3 – Графік залежності помилок навчання від кількості циклів навчання

Графік поверхні нечіткого виведення представлений на рис 4.

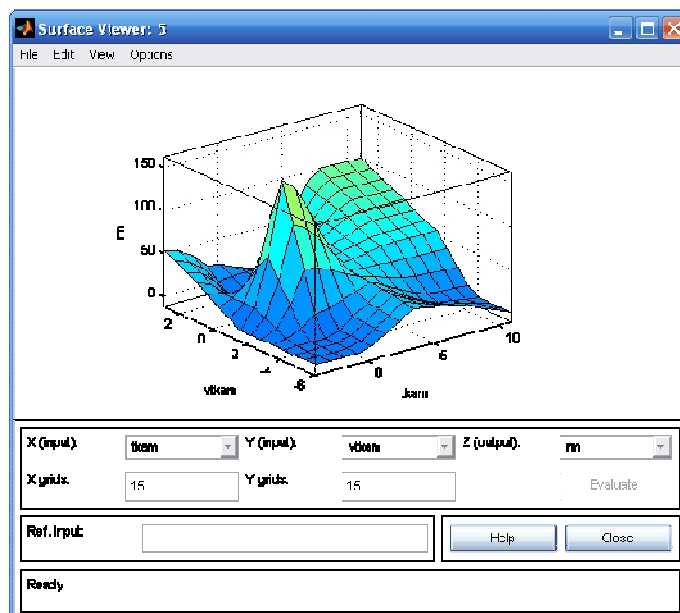


Рисунок 4 – Графік поверхні нечіткого виведення

В результаті отримана пробна гібридна модель управління холодильною установкою. Аналіз отриманої моделі показав, що використання нейро-нечіткого моделювання для управління холодною установкою є перспективним напрямом дослідження. Однак, вона враховує не усі параметри, що впливають на якість управління, тому не може вважатись остаточною.

Перспективи дослідження

З метою підвищення адекватності і міри подібності моделі передбачається ввести в модель додаткові параметри, які мають вплив на якість управління холодильною установкою, а також підготовка і завантаження більшого за об'ємом виборки файлу з навчальними початковими даними, підготовка і завантаження додаткового файлу з перевірочними початковими даними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Живица Ю. В., Онищенко О. А. Управление промышленной холодильной установкой с использованием алгоритмов нечеткой логики // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 4/2008 (51). Частина 2. - с. 140-143
2. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и FuzzyTech. – Спб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.:ил.
3. Селиванова А. В. Интеллектуальные модели в разработке компьютерных тренажеров по холодильной специальности – XI международная научная конференция имени Т. А. Таран "Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2011", Киев, 17-20 мая 2011 г.: сб. тр./ гл. ред. С.В.Сирота. – К. : Просвіта, 2011. – 360 с. : ил. – с. 327-335

В.В. Слесарев, Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАТЧИКІВ В СИСТЕМІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КЕРУВАННЯ СОРТОПРОКАТНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

Анотація: В статті проаналізовано можливий вплив на якісний показник виробництва можливих помилок вимірювання на кожному етапі технологічного циклу. Обґрунтована необхідність впровадження системи автоматичного керування розливкою в складі загальної СППР керування сортопрокатним виробництвом.

Ключові слова: розливка, керування, зливоч, витратний коефіцієнт металу, ваги, датчик, прокат.

Вступ. Основним критерієм, за яким оцінюється ефективність металургійного виробництва, зокрема сортопрокатного, є витратний коефіцієнт металу (ВКМ). Він дорівнює відношенню за вагою усього металу, що використаний на виконання певного замовлення M_{brutto} до обсягу (фактичного відвантаження) цього замовлення M_{netto} . Сенс ВКМ майже ідентичний сенсу коефіцієнту корисної дії, а сам коефіцієнт має бути якомога ближчим до одиниці.

$$ВКМ = M_{brutto} / M_{netto} \quad (1)$$

Витрати металу у процесі виробництва сталевих прокатів зі злиwkів мають як випадковий, так і систематичний характер. Вони виникають на кожній зі стадій виробництва готової продукції. Аби їх мінімізувати, необхідно чітко знати природу виникнення цих втрат, можливу величину, а також доступні шляхи їх усунення.

Оскільки втрати на попередніх етапах мають враховуватися при налаштуванні на оптимальні значення наступних технологічних операцій, вони мають чітко контролюватися чи прогнозуватися. Водночас можливі втрати прикінцевих етапів визначають оптимальні налагодження початкових операцій, тому точності вимірювання та прогнозування на цих етапах має приділятися також підвищена увага. Враховуючи викладене, актуальною вбачається дослідження впливу

кожного з джерел втрат металу в технологічному процесі та впровадження у загальну інтегровану систему підтримки прийняття рішень керування технологічним процесом необхідних датчиків та прогнозуючих підсистем.

Постановка проблеми. Технологічний цикл виробництва сортового прокату на металургійному виробництві зазвичай містить кілька операцій [1], послідовність яких ілюструє таблиця 1. Як можна побачити, величини, що контролюються на кожному з етапів, відрізняються як за природою, так і за шкалами.

Зрозуміло, що на кожному з етапів (їх ще називають переділами) виробництва готового прокату виникають втрати. Деякі з них носять технологічний характер і не можуть бути усунені, інші є наслідком тих чи інших помилок операторів та автоматичних систем керування окремими процесами.

Таблиця 1

Технологічні операції, контрольовані та неконтрольовані параметри

№ з/п	Технологічна операція	Форма металу	Вид втрат	Контрольовані параметри	Неконтрольовані параметри
1	Розливка зливків	Зливоч	Перелив/недолив	Висота наливу	Вага зливку
2	Розігрів зливків	Зливоч	Угар металу	Температура посадки, час нагрівання	Температура виходу, вага зливка
3	Прокатка блюмів	Блюм	Основний та додатковий обріз	Обріз ПГН	Лінійні розміри блюма
4	Прокатка й розкроювання заготовки	Заготовка квадратна чи прямокутна	Обрізок, стружка, немірна штанга	Кількість та довжина мірних і немірних штанг	Вага обрізка, отвір валків
5	Прокатка й розкроювання сортаменту	Готова продукція	Обрізок, стружка	Кількість та вага готової продукції	Вага обрізка

З таблиці 1 легко побачити, що на більшості технологічних операцій контролюються якраз не вага металу – величина, що безпосередньо входить до ВКМ

Раніше [2] авторами було виконано системний аналіз факторів, що визначають мірність розкату квадратної чи прямокутної передільної заготовки. Було показано, що найбільш суттєвий вплив на довжину розкату, який приходить на розкроювання, має фактична висота наливу сталі у зливоч, наявність додаткового (понаднормативного) обрізу на парогідравлічних ножицях (ПГН), величина угару зливку

при його розігріві у колодязях та фактичний отвір валків заготівельного стану.

В [3] було побудовано модель багатовимірної лінійної регресії, що дозволяє прогнозувати довжину розкату за величинами, отриманими на попередніх переділах. При цьому були встановлені довірчі інтервали залежності та значущість коефіцієнтів рівняння за статистичними критеріями. При цьому за введеними критеріями було показано, що кращим рівнянням є формула

$$L = a_1 X_1 + a_2 X_{34}, \quad (2)$$

де X_1 - висота наливу сталі в мм; X_{34} - сукупний (номінальний та додатковий) обріз на парогідравлічних ножицях; a_1 та a_2 - коефіцієнти, значущі за критеріями Фішера та Стьюдента.

Сімейство рівнянь вигляду (2), відмінних лише коефіцієнтами, може бути отримано для кожного з типів виливниць, що використовуються в сталеплавильному цеху.

В існуючому технологічному процесі [1] вирішуються дві оптимізаційні задачі. Перша, докладно розглянута в [4], полягає у комбінаторному визначенні такого набору мірних і немірних штанг, на які розкроюється передільна заготовка, який забезпечував би мінімум (в ідеалі – відсутність) обрізку та, водночас, паралельне виконання усіх наявних замовлень на готову продукцію. Інакше кажучи, заготовка, довжина якої спрогнозована через висоту наливу, угар та обріз ПГН, має бути якомога повніше розподілена на мірні довжини того чи іншого замовлення. Зведений критерій оптимізації має вигляд

$$k_1 \left(\sum_{j=1}^m L_j - \sum_{k=1}^t x_{jk} \right) + k_2 \sum_{q=1}^{p-1} \sum_{r=q}^p \left(\frac{a_q}{z_q + 1} - \frac{a_r}{z_r + 1} \right)^2 \cdot L_k \rightarrow \min \quad (3)$$

де k_1, k_2 - вагові коефіцієнти узгодження цільових функцій мінімізації залишку від розкроювання j – тої заготовки на x_{jk} передільних штанг k – того типу; p_i - кількість штанг i – того типу, які необхідно розкроїти; t - кількість варіантів розкрою; a_q, a_r - кількість заготовок, що вирізаються за q, r -м замовленнями; z_i, z_j - обсяг q, r -ого замовлення, яке ще не виконане, p - кількість видів замовлень.

Мірність передільних штанг і є тією самою другою оптимізаційною задачею. Формалізовано вона виглядає наступним чином

$$l_0 m_0 - n \cdot l_{netto} m_{netto} \rightarrow \min, \quad (4)$$

де l_{netto} – довжина готової продукції товарна, згідно із замовленням; l_0 – довжина передільної штанги; $n = 1, 2, \dots$ – ціла кількість готових штанг, що можуть бути отримані з однієї передільної; m_0 та m_{netto} – вага погонного метру передільної заготовки та готової продукції відповідно.

Кожне замовлення надходить у вигляді маси певного виду продукції, яка має бути розділена на задану довжину l_{netto} . Залежно від m_{netto} , яка може різнитися у кілька разів, з передільної штанги, довжиною $l_0 \in [2, 2 \dots 3, 2]$ метри, можна викроїти кілька штанг готової продукції, забезпечивши при цьому мінімум обрізку. Для важких профілів така мірна довжина зазвичай одна, для легших їх кілька. Наприклад, для швелера №10П при виготовленні з однієї передільної штанги п'яти готових штанг $l_{netto} = 11,7$ метрів оптимальною буде $l_0 = 3,05$ метри, а для чотирьох – $l_0 = 2,45$ метри.

Фактично, рішення оптимізаційної задачі (4) є умовою для розв'язання оптимізаційної задачі (3), адже множина можливих розкроювань складається з оптимальних для даного замовлення мірних довжин передільних заготовок

$$x_k = \{l_o^i\}_p. \quad (5)$$

У свою чергу, L_k з (3) є прогнозованою за (2) величиною довжини розкату. Коефіцієнти (2) справедливі для так званого «ідеального спостереження», або ж для еталонного ходу технологічного процесу. Таким чином, неточності в роботі операторів обладнання чи помилка вимірювань можуть призвести до істотних помилок прогнозування та оптимізації. Як наслідок – збільшиться ВКМ (1), хоча на кожному етапі особи, які приймають рішення, будуть виходити зі, здавалося б, оптимальних міркувань.

Враховуючи викладене, актуальною вбачається задача дослідження впливу кожного з джерел втрат металу в технологічному процесі та впровадження у загальну інтегровану систему підтримки

прийняття рішень керування технологічним процесом [6] необхідних датчиків та прогнозуючих підсистем.

Мета дослідження: дослідити вплив можливих помилок вимірювань та спостережень на кожному з етапів виробництва сортового прокату, визначити припустимі межі невизначеності та рекомендувати вирішення проблеми.

Основний матеріал. Розглянемо докладніше причини виникнення та методику вимірювання чи розрахунку основних видів втрат під час виготовлення сортового прокату.

Згідно з [2], втрати металу обумовлені:

- недоливом чи переливом зливку – безпосередньо на величину переливу, яка не бере участь в подальшому процесі або недоливу, який призводить до зменшення відсотку мірних передільних заготовок;

- угаром металу в нагрівальних колодязях – на нормативну величину, обумовлену нагріванням зливка до заданої температури (при гарячому посаді з $T = 900^{\circ}\text{C}$ й температурі видачі $T = 1250^{\circ}\text{C}$, складає 1,64–1,67% від ваги зливка), а також на додаткову величину, що нелінійно збільшується з часом перебування зливка в колодязі;

- обрізом на парогідравлічних ножицях, що поділяються на технологічний (однаковий для усіх блюмів) та додатковий, обумовлений станом кінців (носить ймовірний характер, з'являється у 10-20% зливків й може сягати 2-3% маси прокату сляба);

- зміною отвору валків, унаслідок чого виконується невірне розкроювання квадратної чи прямокутної заготовки, що у свою чергу призводить до утворення значного обрізку або немірної готової продукції.

Використовуючи запропоновані раніше моделі процесів розливи, прокатки та розкроювання, був проведений математичний експеримент із застосуванням так званого греко-латинського квадрату [5] – методу планування багатофакторних експериментів, що дозволяє отримувати залежності досліджуваної змінної від кожного з факторів, незалежно від інших незалежних змінних.

Було досліджено, як зміниться ВКМ при виконанні типового замовлення великого об'єму (2500 тон) на швелер №10П при помилці вимірювання кожного з видів втрат. Результати дослідження представлені у таблиці 2.

Залежність ВКМ від помилки вимірювання для швелера №10П

Помилка вимірювань	Величина ВКМ за умови, що похибка в параметрі							
	Висота наливу		Угар		Обріз ПГН		Отвір валків	
	абс.	±, %	абс.	±, %	абс.	±, %	абс.	±, %
-5%	1,101173	112,84%	1,09145	102,00%	1,090883	101,37%	--	--
-4%	1,091960	102,57%	1,09094	101,43%	1,090712	101,18%	--	--
-3%	1,100538	112,14%	1,09048	100,92%	1,090351	100,77%	1,091962	102,57%
-2%	1,091480	102,03%	1,09018	100,58%	1,090064	100,45%	1,093181	107,62%
-1%	1,097168	108,38%	1,08999	100,37%	1,089898	100,27%	1,091935	102,54%
0	1,089657	100,00%	1,089657	100,00%	1,089657	100,00%	1,089657	100,00%
1%	1,097934	109,23%	1,090663	101,12%	1,089959	100,34%	1,091924	102,53%
2%	1,093165	103,91%	1,090536	100,98%	1,090419	100,85%	1,094203	105,07%
3%	1,089856	100,22%	1,090945	101,44%	1,090405	100,83%	1,096487	107,62%
4%	1,095282	106,27%	1,091116	101,63%	1,090788	101,26%	--	--
5%	1,090153	100,55%	1,091470	102,02%	1,091395	101,94%	--	--

Величині у 100% в таблиці 2 відповідає значення ВКМ, отримане при точному супроводженні технологічного процесу інформацією без помилок. Відсутність значень з помилкою в 4% та 5% для отвору валків пояснюється нереальністю таких величин, адже системою натискних гвинтів керує система автоматичного регулювання, для якої подібна помилка є нереальною.

Як видно, найсуттєвіший вплив на ВКМ має можлива помилка висоти наливу сталі у виливницю, за нею йде помилка у отворі валків. Ці два параметри, на відміну від вимірювання угару та обрізу ПГН, мають контролюватися з особливою точністю.

Крім того, слід відзначити відчутно нелінійний характер залежності ВКМ від помилки висоти наливу та помилки ширини отвору валків у той час, як помилки у вимірюванні інших величин впливають на витратний коефіцієнт металу майже лінійно.

Нарешті, ще один важливий момент – оптимальне значення ВКМ порушується як при додатних, так і при від’ємних значеннях помилки по кожній змінній у обраному діапазоні вимірювань.

Швелер №10П належить до дрібно-сортового прокату, тому вплив помилки висоти наливу на ВКМ при його виробництві є недостатньо показовим. Для порівняння, аналогічні викладеному вище математичні експерименти були поставлені для швелерів №16П (середньо-сортовий) та №24П (крупно-сортовий). Результати моделювання демонструє сімейство залежностей на рис. 1, де помітною стають дві тенденції. По-перше, що крупніший профіль прокатується, то важливішим для нього є вимірювання точності висоти зливу, а по-

друге, яскраво помітна багатоекстремальність ВКМ як функції висоти наливу.

Велика кількість екстремумів знайденої залежності пояснюється, зокрема тим, що при певній зміні висоти зливку оптимальною стає нова, відмінна від попередньої комбінація мірних та немірних довжин, що можуть бути отримані за (4) при однаковій довжині розкату. Що важчими є штанги готової продукції, а отже що меншу кількість їх можна отримати з одного зливку, то менше локальних екстремумів має залежність ВКМ від параметрів прокатки.

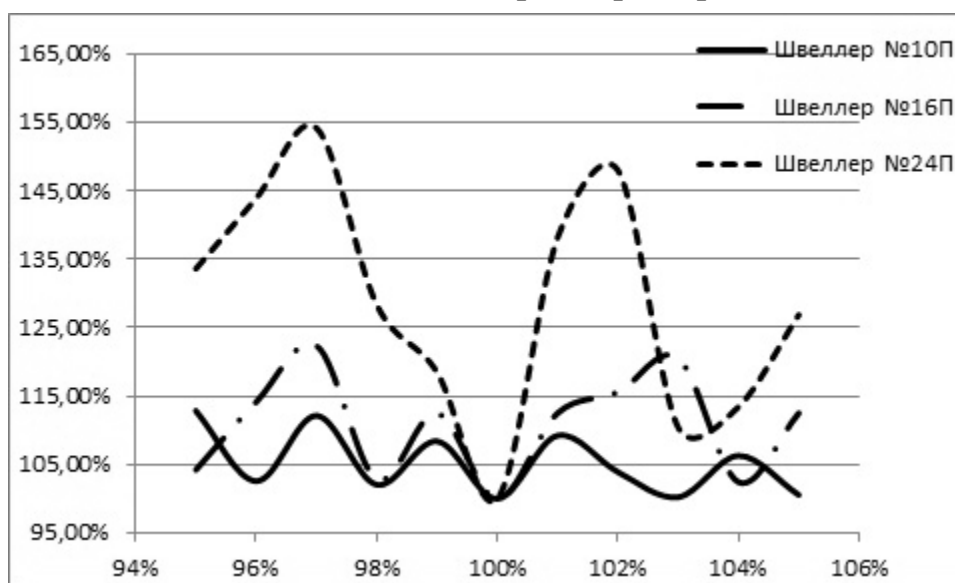


Рисунок 1 – Залежність зміни ВКМ від точності розливки зливків

Останній факт, у свою чергу, залишає відкритим питання – чи можна для заданих параметрів готової продукції за умови планового ведення виробничого процесу отримати оптимальне значення висоти наливку й налаштування отвору валків таким чином, аби забезпечити глобальний мінімум ВКМ. Також відкритим залишається питання про метод глобальної оптимізації, який слід застосовувати для пошуку найкращих умов прокатки.

Аналізуючи відстань між глобальним оптимумом та найближчими піками як ліворуч, так і праворуч від нього, отримуємо, що ймовірна помилка вимірювання висоти зливка не має перевищувати 0,5% у той чи в інший бік. В ході математичного моделювання також було з'ясовано, що робочі висоти зливків знаходяться у межах 2000–2300 мм. Таким чином, для забезпечення бажаної точності необхідно вимірювати висоту наливку з помилкою не більше ± 10 – $11,5$ мм. За-

безпечити таку точність оптичними приладами на теперішній момент в умовах існуючого виробництва нереально.

Слід враховувати й ще одну важливу деталь – якість внутрішньої поверхні виливниць, адже в перерахунку висоти наливку до ваги зливку вважається, що обидва торці є плоскими, а бічні поверхні – рівними. В реальних умовах піддон з виливницями, як і футеровка стінок, можуть вигоряти в процесі експлуатації, внаслідок чого чіткий математичний зв'язок між висотою та вагою зливку порушується значно суттєвіше ніж на 0,5%.

Альтернативою бачиться вимірювання ваги зливку за допомогою тензометричних вагів, що монтуються в траверзу сталерозливного крана. Сучасні електронні ваги дозволяють виконувати розливу сталі з 60-тонного ковша з помилкою не більше ± 20 кг, що в умовах робочої ваги зливків 6880-7710 кг становить $\pm 0,26-0,29\%$. Слід також відзначити, що крім точності вимірювання згадані ваги мають бути без інерційними, аби враховувати у масі зливку вагу того металу, який вже вийшов з ковша, але ще не досяг поверхні металу середині виливниці.

Висновки та перспективи досліджень. В результаті виконання математичного багатофакторного експерименту за греко-латинських квадратом були отримані залежності витратного коефіцієнту металу від можливих помилок вимірювання параметрів, що використовуються у моделях прогнозування та оптимізації при виготовленні сортового прокату.

Ключовими параметрами, які мають контролюватися, є ширина отвору валків та величина зливку. Вигляд залежностей багатоекстремальний, що обумовлено комбінаторним характером оптимізаційної задачі знаходження оптимального розкроювання заготовки на передільні штанги.

В якості контрольованого параметру замість висоти зливку пропонується застосовувати тензометричний датчик ваги, який має забезпечувати помилку вимірювання ваги зливку не більше $\pm 0,5\%$. Іншою вимогою до датчика має бути висока швидкодія.

Враховуючи багатоекстремальний нелінійний характер залежності ВКМ у функції розміру зливку та інших параметрів, необхідно в подальшому вирішити задачу прогнозування оптимальної ваги зливка в залежності від замовлення на готову продукцію і очікуваних

станів на проміжних переділах. Одним з варіантів рішення такої задачі, враховуючи її комбінаторну складову, може бути застосування евристичних методів оптимізації, зокрема, еволюційного характеру.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологическая инструкция по производству блюмов, заготовки и фасонных профилей в прокатном цехе №1 [Текст] : под ред. Канищева Л.И. – Днепропетровск: ДМЗ им. Петровского. – 1999. – 340 с.
2. Желдак, Т.А. Системний аналіз факторів, що визначають мірність сортового прокату та шляхи мінімізації немірної продукції [Текст] / Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа // Дніпропетровськ: Науковий вісник НГУ. – 2009. - №8. – с. 73-77.
3. Гаранжа, Д.М. Факторний аналіз впливу технологічних параметрів процесу гарячої прокатки на довжину розкату і побудова прогностичної моделі [Текст] / Д.М. Гаранжа, Т.А. Желдак, М.В. Краєв // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №1 – с.44-49.
4. Желдак, Т.А. Оптимальне одновимірне розкроювання матеріалу у прокатному виробництві [Текст] / Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 4. – с. 43-46.
5. Шенк, Х. Теория инженерного эксперимента [Текст] : пер. с англ. Е.Г. Коваленко; под ред. Н.П. Бусленко / Х. Шенк. – М. : МИР, 1972. – 382 с., ил.
6. Слесарев, В.В. Інтегровані системи керування багатостадійним металургійним виробництвом на прикладі прокатки труб [Текст] / В.В. Слесарев, Т.А. Желдак // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 4 (75). – Днепропетровск, 2011. – с. 78–85.

О.І. Дерев'янка, О.М. Ватченко

ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ОДНОВИМІРНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ У ПЕРЕТИНІ ПУАНКАРЕ

Анотація. Досліджено алгоритм чисельної ідентифікації параметрів одновимірного відображення фазового потоку Ресслера. Доведено, що використання запропонованого ітераційного алгоритму дає можливість ідентифікації одновимірних моделей багатовимірних динамічних систем, що знаходяться в хаотичному режимі.

Ключові слова: перетин Пуанкаре, система Ресслера, хаотичний режим, одновимірне відображення.

Вступ. Аналіз динаміки потоку високої розмірності у відповідному фазовому просторі є нетривіальним завданням. Найчастіше, замість аналізу безперервного потоку, спостерігається динаміка викликана потоком на конкретному перетині фазового простору.. Зазвичай дискретне відображення є похідним від послідовного перетину потоку з перетином Пуанкаре [1].

Робота присвячена дослідженню побудови одновимірне відображення Пуанкаре для 3-мірного потоку Ресслера.

Постановка задачі. Виходячі з вимог комп'ютерного моделювання хаотичної поведінки динамічних систем, щодо вирішення задач управління такими системами, актуальною є задача розробки та дослідження чисельних алгоритмів ідентифікації їх одновимірних відображень. Метою роботи є дослідження запропонованого алгоритму чисельної ідентифікації наприкладі системи Ресслера.

Основна частина. Система Ресслера визначається диференціальними рівняннями [2]:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= -y - z \\ \dot{y} &= x + ay \\ \dot{z} &= b + z(x - c)\end{aligned}\tag{1}$$

де x, y, z – динамічні змінні, a, b, c – параметри системи.

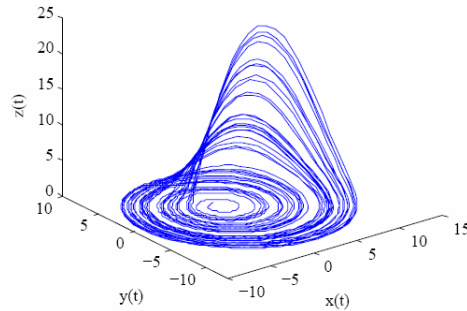
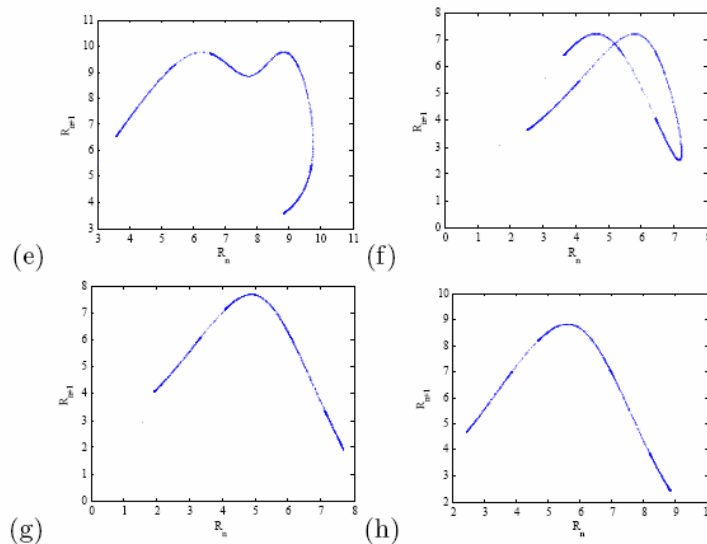


Рисунок 1 – Фазова траєкторія системи Ресслера (1)

Послідовність перетинів Пуанкаре в напрямку z розташовані радіально по зростанню кутів до осі x . Рис. 2 показує розтягування і стиснення дії фазового потоку системи Ресслера.

Рисунок 2 – Перетини Пуанкаре потоку (рис. 1) при 0° , 45° , 90° і 135° до осі x

Випадки (g) і (h) є унімодальними прикладами одновимірного відображення, на відміну від (e) і (f), які є змішаними і незворотними.

Чисельні алгоритми ідентифікації одновимірного відображення системи Ресслера є послідовністю процедур.

По-перше, серед комплексу нестійких власних векторів вибирається один з найбільшою дійсною частиною $\vec{V}_1$. Перетин Пуанкаре будується як ортогональна гіперплощина $\vec{V}_2 = \text{Re}(\vec{V}_1)$. Досить закрити до рівноваги комплексний власний вектор, що обертає потік через переріз та гарантує, що перетин нормальний. У загальному випадку без забезпечення трансверсальності, перетин доводиться вибирати за результатами випробувань.

По-друге, початкова точка $\vec{X}_0$ вибирається, як:

$$\vec{X}_0 = \vec{X}_q + \varepsilon \vec{V}_2, \quad (2)$$

де $\vec{X}_q$ - точка рівноваги і ε - мале число. Фазовий потік інтегрований, і це використано в якості початкової умови, щоб знайти два послідовних перетини з перерізом Пуанкаре, $\vec{X}_A$ і $\vec{X}_B$ (вектори на перетині Пуанкаре, що ідентифікують положення нульової точки $\vec{V}_2$). N початкових точок, розподілені вздовж вектора, що сполучають $\vec{X}_A$ і $\vec{X}_B$ та інтегруються вздовж потоку, щоб знайти ціле число його перетинів з площиною Пуанкаре. Цей процес гарантує, що послідовне виконання ітерацій з незначної частини нестійкого різноманіття на перетині отримає безперервну криву.

Наступне завдання - знайти точку повернення. Щоб досягти цього використано факт, що в точці повернення, радіус кривизни повинен бути менше, ніж в інших точках.

Описаний вище метод використано для пошуку перерізу Пуанкаре і одомірного відображення системи Ресслера (1). Потік має 2 точки рівноваги і визначається:

$$\begin{aligned} (x^-, y^-, z^-) &= (0.0070, -0.0351, 0.0351) \\ (x^+, y^+, z^+) &= (5.6929, -28.464, 28.464) \end{aligned} \quad (3)$$

Траєкторії, які починаються на тій стороні сталої множини зовнішньої рівноваги, впливає (x^+, y^+, z^+) , в той час як ті, які починаються на внутрішній спіральній стороні до внутрішньої точки рівноваги. Розглянемо тепер власні внутрішні точки рівноваги, "-"

$$(\mu_1^-, \mu_2^- \pm i\nu_2^-) = (-5.7, 0.097 \pm 0.99) \quad (4)$$

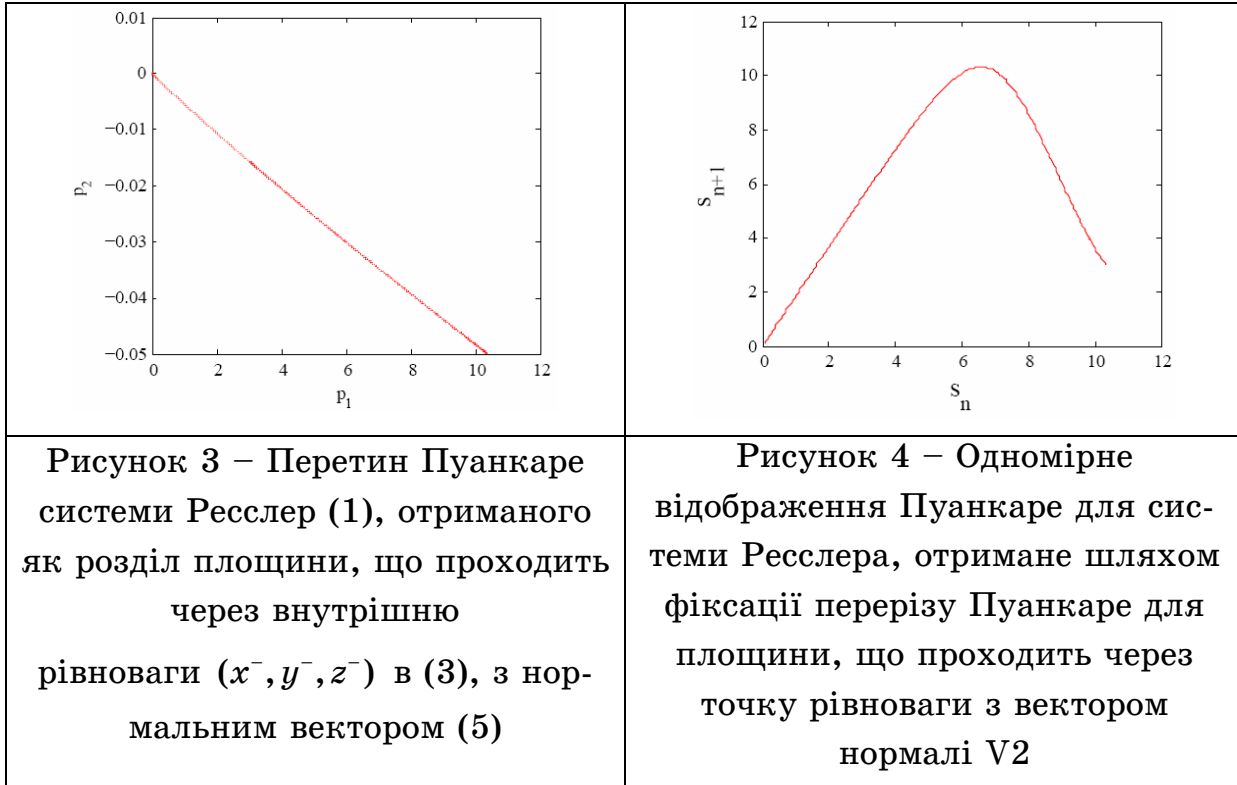
Один з власних векторів, що відповідають комплексним власним значенням

$$V_2 = (0.70728, -0.072725, 0.0041683) \quad (5)$$

Визначимо переріз Пуанкаре у площині, що проходить через точки (x^-, y^-, z^-) і нормалі V_2 . Рис. 3 показує частину потоку з осями двох ортонормованих векторів у площині, і задається

$$\begin{aligned} P_1 &= (-0.1023757, -0.994738, 0.0038795) \\ P_2 &= (-0.005434, 0.0044592, 0.9999752). \end{aligned} \quad (6)$$

Рис. 4 показує сильне стиснення вздовж напрямку z , і слабку нелінійність для точок рівноваги $P1 = 0$, , та $P2 = 10$, де лінійне наближення дійсно можливе. Відповідне одномірне відображення Пуанкаре має вигляд рис. 4.



Суцільна лінія одновимірного відображення є квадратичною:

$$s_{n+1} = Q_{\alpha}(s_n) = -(\alpha + 1 + 2\alpha^{1/2})s_n^2 + 2(\alpha + \alpha^{1/2})s_n - \alpha + 1 \quad (7)$$

Це відображення може бути записано і в стандартній формі:

$$s_{n+1} = \lambda s_n (1 - s_n) = Q(s_n; \lambda) \quad (8)$$

де λ пов'язана з відрізком прямої $\lambda = 1 + (5 + 4\alpha^{1/2})^{1/2}$.

Висновки. Досліджено алгоритм чисельної ідентифікації параметрів одновимірного відображення фазового потоку Ресслера. Доведено, що використання запропонованого ітераційного алгоритму дає можливість ідентифікації одновимірних моделей багатовимірних динамічних систем, що знаходяться в хаотичному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Henon, M. (1982). "On the Numerical Computation of Poincare Map," Physica 5D, 412-414.
2. Кузнецов С. П. Динамический хаос. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001.– 296 с.

А.А. Журба, А.И. Михалев, С.И. Губенко, Е.А. Черноиваненко
**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ФРАКТАЛЬНОЙ РАЗМЕРНОСТИ И
ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ
КОМПОЗИТНОЙ СТРУКТУРЫ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ**

Аннотация. В статье рассматривается поверхность шлифа быстрорежущей стали и изменение ее фрактальной размерности в процессе формирования композитной структуры. Были построены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей структуры стали и их фрактальные сигнатуры.

Ключевые слова: композитная структура, быстрорежущая сталь, фрактал, фрактальная размерность, фрактальная сигнатура (кепстр), фрактальное распределение, глобальная и локальные фрактальные распределения, «тяжёлый хвост».

Введение

Композиты представляют собой материалы с упрочняющими элементами в виде волокон, нитей и других составляющих. Комбинируя объемное содержание разнородных компонентов, можно получать материалы с заданными специальными свойствами. При этом материалы приобретают свойства, которыми не обладает каждый из компонентов в отдельности. Современные стали с композитными структурами применяют для обеспечения высоких требований к их механическим и функциональным свойствам [1].

Композитную структуру в стали можно получить при химико-термической обработке, которая заключается в насыщении поверхностного слоя определенными элементами (например, углеродом), что способствует образованию и росту новых фаз (например, карбидов). При этом в поверхностном слое образуются колонии карбидов, которые способствуют формированию композитной структуры [2].

Очевидно, формирование сложных композитных структур требует новых подходов к изучению особенностей их формирования.

Целью данной работы является изучение фрактальных характеристик в процессе формирования композитной структуры быстрорежущей стали Р6М5 при химико-термической обработке.

Материалы и методики исследования

Для исследования были получены фотографии микроструктуры поверхностного слоя образцов из стали Р6М5 после комплексной химико-термической обработки [2]. В процессе формирования композитной структуры быстрорежущей стали изменяется фрактальная размерность, которая представляет собой важную количественную характеристику и является существенным элементом при фрактальном анализе микроструктур.

Фрактальная размерность определялась методом BOX COUNTING, который может быть применен к изображениям различной структуры и позволяет определить фрактальную размерность не строго самоподобных объектов [3].

Для построения фрактальных распределений использовался метод скользящего окна. Данный метод заключается в определении фрактальной размерности в пределах окна, размер которого можно задавать произвольно. Окно попиксельно перемещается по изображению, вычисляя на каждом шаге фрактальную размерность. Размер окна зависит от масштаба δ и рассчитывается из соотношения $2\delta + 1$ [5].

Чтобы иметь возможность различать фракталы, имеющие элементы различных размеров, необходимо проводить анализ на нескольких масштабах одновременно. В этом случае получена зависимость меры от масштаба $S = f(\delta)$ в логарифмическом масштабе – фрактальная сигнатура (фрактальный кепстр), которая определяется из соотношения (1).

$$S = N\delta, \quad (1)$$

где N - число элементов разрешения, необходимых для покрытия объекта; δ - площадь элемента разрешения.

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе комплексной химико-термической обработки поверхностный слой образцов быстрорежущей стали претерпел ряд структурных и фазовых изменений. Первая стадия обработки включала обезуглероживание образцов (1200°C, 2 часа) с целью подготовки поверхностного слоя к формированию композитной структуры [2]. В

результате образовалась ферритная структура (рисунок 1а). Вторая стадия обработки включала науглероживание при температуре 1180°C с разным временем выдержки (30 минут, 1 час, 2 часа) в процессе которой в поверхностном слое образцов формировалась композитная структура карбид – металлическая матрица (рисунок 1б – 1г) [2].

В таблице 1 приведены значения фрактальной размерности структуры стали в процессе формирования композитных колоний карбид – матрица [6]. Из таблицы 1 видно, что значение фрактальной размерности растет с увеличением времени науглероживания.

Фрактальная размерность конечной структуры композита в поверхностном слое быстрорежущей стали на 5-6% больше фрактальной размерности начальной обезуглероженной поверхности.

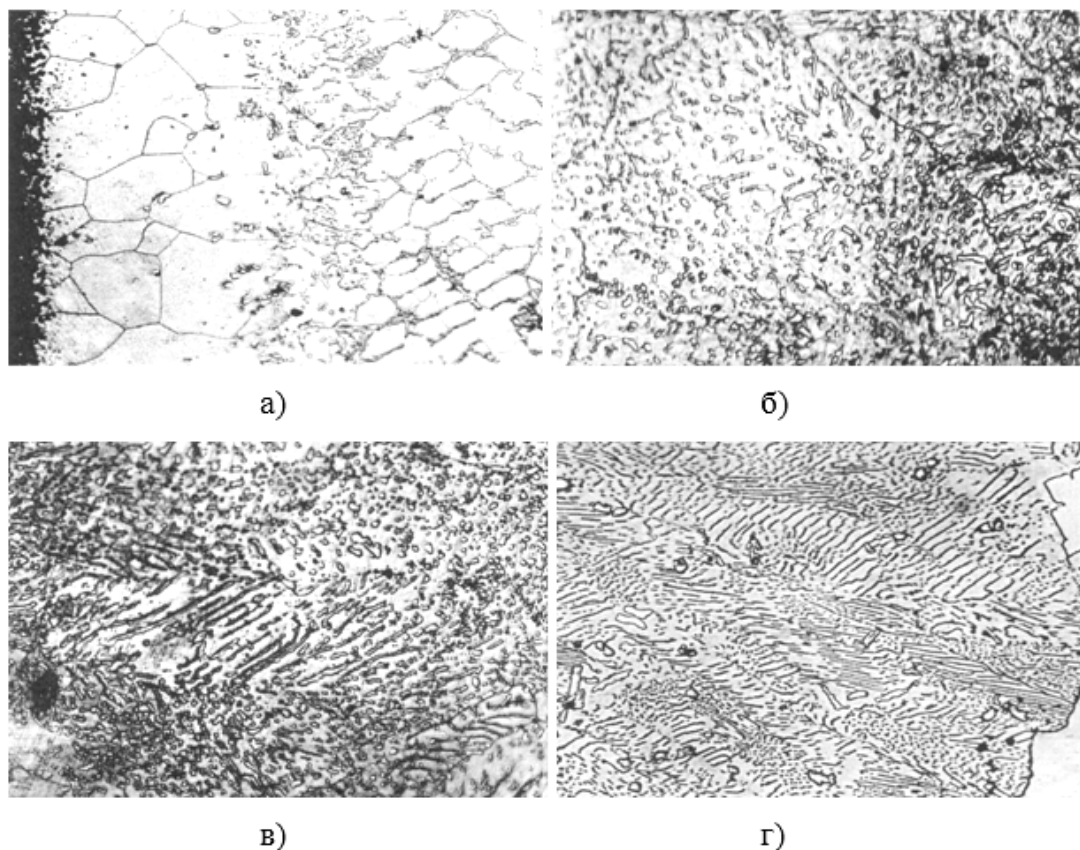


Рисунок 1 – Сталь Р6М5. Процесс формирования композитной структуры быстрорежущей стали Р6М5: а) обезуглероженный поверхностный слой; б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час; г) науглероживание 2 часа, конечная структура

Изображение может состоять из фрагментов, имеющих различные оценки размерности. Это связано с тем, что изображение может содержать несколько составляющих, часть из которых при масштабе, большем некоторого числа, становится точками, другие же

части на этих масштабах остаются множествами. Следовательно, фрактальная размерность каждого фрагмента будет разной и будет отличаться от размерности всего изображения. Если оценивать фрактальную размерность всего изображения (глобальная фрактальная размерность), не обращая внимания на масштабы, то оценка фрактальной размерности не позволит отделить участки (кластеры) изображений. К тому же оценка размерности может быть некорректной, так как часть участков изображения окажется непроанализированной [3,4].

Для решения этой проблемы необходимо разделить изображение на малые фрагменты и в этих фрагментах оценивать фрактальные размерности (локальные фрактальные размерности). Если фрагменты находятся на изображении фрактала, имеющего одинаковую размерность, то и общая оценка размерности по этим фрагментам останется постоянной.

Измерение локальных размерностей производится с помощью скользящего окна. После измерения локальных размерностей производится построение эмпирического распределения локальных фрактальных размерностей.

Сложные изображения или изображения, состоящие из множества фрагментов различной природы, после вычисления локальных размерностей дают мультимодальные распределения. Каждая мода такого распределения соответствует кластеру изображения, имеющему близкие значения локальных размерностей [4]. На рисунке 2 представлены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей на разных этапах формирования композитной структуры стали Р6М5 при масштабе $\delta = 7$ (размер скользящего окна 15x15 пикселей). Из рисунка 2а видно, что структура содержит четыре вида кластеров, имеющих близкие значения локальных размерностей, что соответствует поверхности на рисунке 1а. На рисунке 2б количество таких кластеров сокращается до трех, что свидетельствует о более однородной поверхности на рисунке 1б. Распределения на рисунках 2в и 2г показывают, что повышается степень однородности поверхностей, представленных на рисунках 1в и 1г [6].

Изменение величины фрактальной размерности в процессе формирования композитной структуры стали

№	Описание	Фрактальные характеристики
Рисунок 1а	Обезуглероженный поверхностный слой; $\times 100$; $t\ 1200^{\circ}\text{C}$. Частицы карбидов практически отсутствуют	• Фрактальная размерность $D=1.8515$; • Эмпирическое распределение локальных фрактальных размерностей: рисунок 2а; • Фрактальные сигнатуры: рисунок 4а.
Рисунок 1б	Науглероживание в среде пропан+азот; $\times 500$; $t\ 1180^{\circ}\text{C}$; время науглероживания 30 минут. Появились глобулярные карбиды	• Фрактальная размерность $D=1.9147$; • Эмпирическое распределение локальных фрактальных размерностей: рисунок 2б; • Фрактальные сигнатуры: рисунок 4б.
Рисунок 1в	Науглероживание в среде газ(пропан)+азот; $\times 500$; $t\ 1180^{\circ}\text{C}$; время науглероживания 1 час. Карбидов стало больше, они начинают менять форму	• Фрактальная размерность $D=1.9704$; • Эмпирическое распределение локальных фрактальных размерностей: рисунок 2в; • Фрактальные сигнатуры: рисунок 4в.
Рисунок 1г	Науглероживание; $\times 250$; конечная структура – колонии аустенит+карбид; время науглероживания 2 часа. Изменилась форма карбидов, возникли колонии аустенит+карбид	• Фрактальная размерность $D=1.9563$; • Эмпирическое распределение локальных фрактальных размерностей: рисунок 2г; • Фрактальные сигнатуры: рисунок 4г.

На характер распределения влияют размеры измерительного и масштабного окон. На рисунке 3 представлены эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей на разных этапах формирования композитной структуры стали Р6М5 при масштабе $\delta = 8$ (размер скользящего окна 17×17 пикселей). При данном масштабе в окрестности значения фрактальной размерности полезной со-

ставляющей появляется «тяжелый хвост» фрактального распределения (паретиана), достигающий стабильной величины 10-20%.

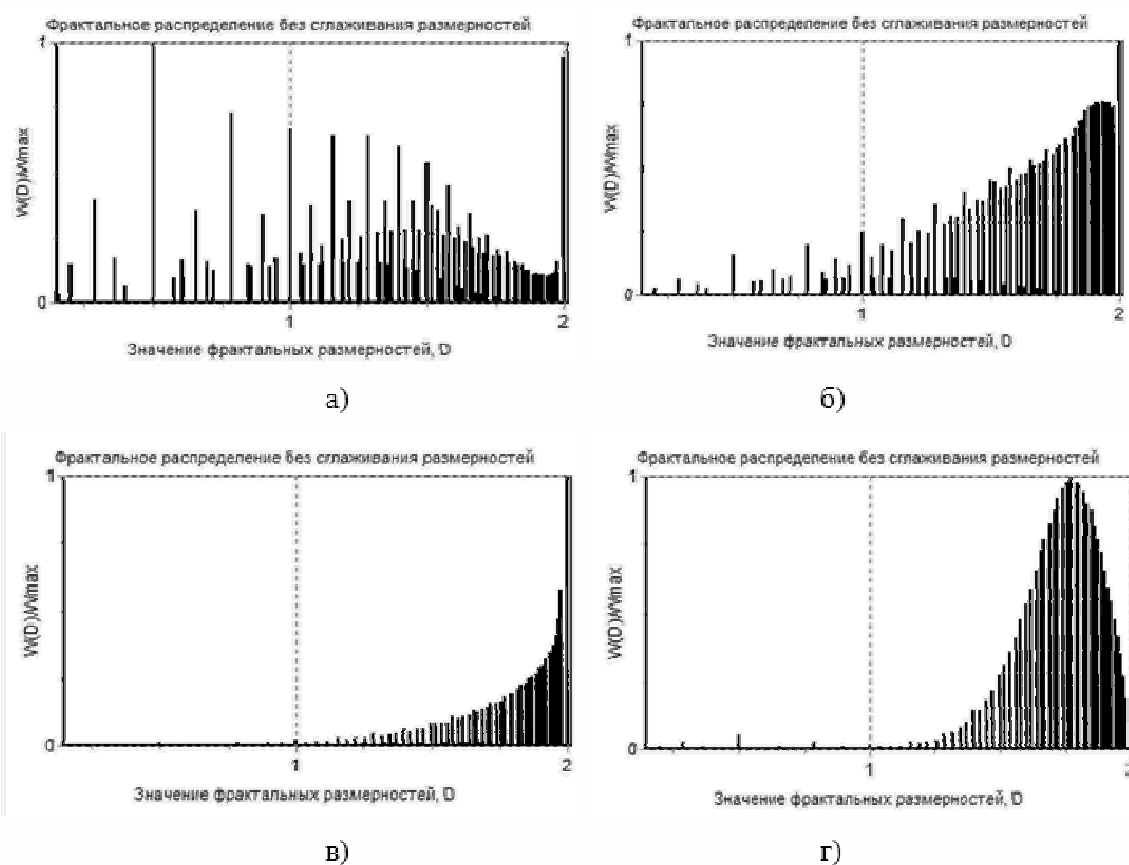


Рисунок 2 – Эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей структуры стали в процессе формирования композитных колоний (при размере скользящего окна 15x15 пикселей): а) обезуглероженный поверхностный слой; б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час; г) науглероживание 2 часа, конечная структура – колонии аустенит+карбид

При определении фрактальной размерности возникает проблема, если неизвестен конечный масштаб, в результате чего фрактальная размерность может быть искажена. Возникает вопрос о размере фрагментов изображения. Этот размер должен быть не больше, чем предполагаемые размеры анализируемых элементов изображения. Если размер фрагмента выбрать близким размеру исследуемого элемента, то возможна ситуация, при которой только часть элемента окажется в пределах одного фрагмента, а другая часть окажется в пределах другого фрагмента. Это приведет к искажению оценки размерности, так как кроме фрактального изображения в область анализа попадет и фон, размерность которого другая. Поэтому выбирают

размеры фрагментов или окон заведомо малыми, близкими к размерам минимальных элементов ожидаемого фрактального рисунка.

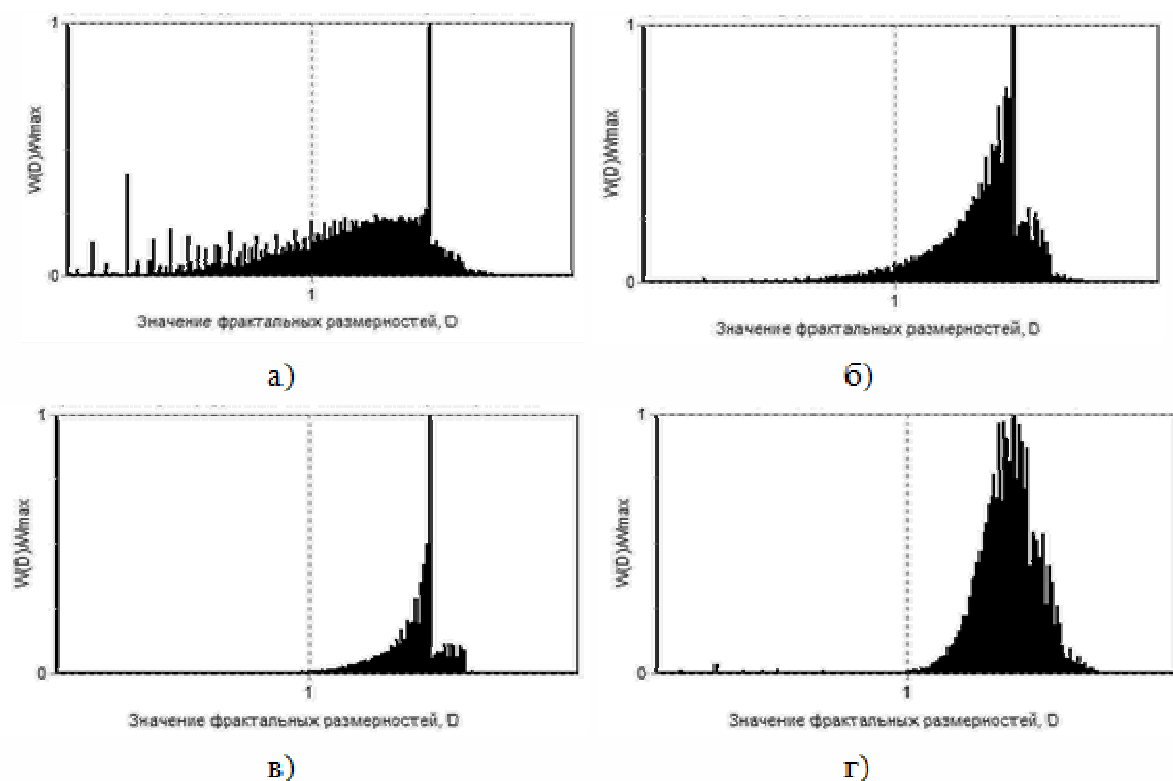
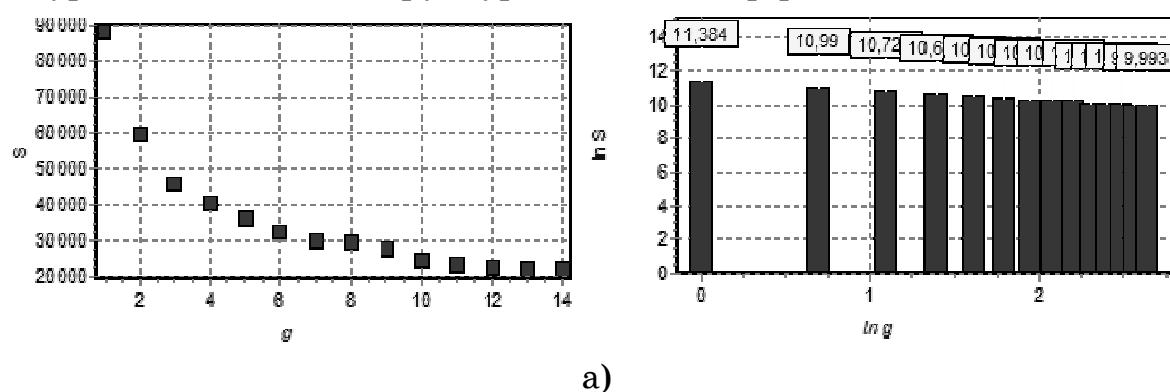


Рисунок 3 – Эмпирические распределения локальных фрактальных размерностей структуры стали в процессе формирования композитных колоний (при размере скользящего окна 17x17 пикселей): а) обезуглероженный поверхностный слой; б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час; г) науглероживание 2 часа, конечная структура – колонии аустенит+карбид

Решить эту проблему помогает построение фрактальной сигнатуры, которая представляет собой зависимость оценок типа от масштаба наблюдения [4]. На рисунке 4 представлены фрактальные сигнатуры композитных структур стали Р6М5 [6].



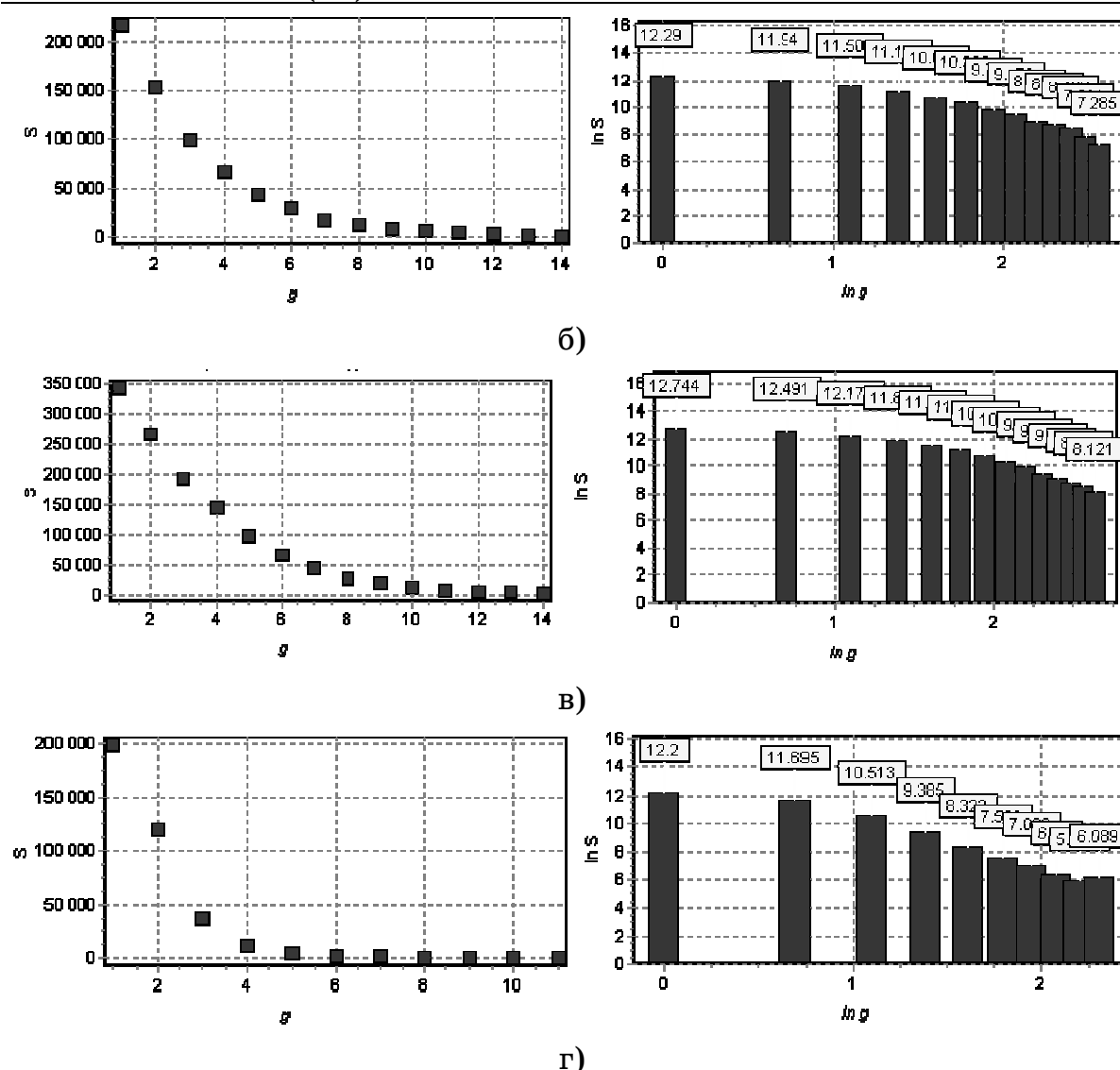


Рисунок 4 – Фрактальные сигнатуры структуры стали Р6М5 в процессе формирования композитных колоний: а) обезуглероженный поверхностный слой; б) науглероживание 30 минут; в) науглероживание 1 час; г) науглероживание 2 часа, конечная структура аустенит+карбид

Фрактальные сигнатуры объектов и их производные позволяют оценить фрактальную размерность.

$$D_{\delta} = - \log_{\frac{\delta+\Delta}{\delta}} \frac{S(\delta+\Delta)}{S(\delta)}, \quad (2)$$

где Δ - шаг дискретизации по масштабу.

Если изображение имеет почти одинаковую природу, имеет смысл определять размерность D по наклону фрактальной сигнатуры.

Наибольшие различия в сигнатурах и их производных позволяют определить средний размер элементов структуры стали.

Построив фрактальную сигнатуру можно различать самоподобные объекты и определять размер некоторых их элементов. Если изображение состоит из нескольких самоподобных структур, то различия сигнатур будут проявляться сразу в нескольких диапазонах масштабов.

Выводы

В данной работе исследовалось изменение фрактальных характеристик в процессе формирования композитной структуры быстрорежущей стали Р6М5 при комплексной химико-термической обработке. Разработан программный продукт, позволяющий оценивать фрактальную размерность и фрактальную сигнатуру поверхностей, а также строить распределение локальных фрактальных размерностей.

В процессе формирования композитной структуры стали Р6М5 изменяются ее свойства, и, следовательно, - фрактальная размерность. Выявлено, что значение фрактальной размерности растет с увеличением времени науглероживания. Фрактальная размерность конечной структуры композита на 5-6% больше фрактальной размерности начальной обезуглероженной поверхности.

Изображения, состоящие из множества фрагментов различной природы, после вычисления локальных размерностей дают мультимодальные распределения, что говорит о разных размерах кластеров, содержащихся в структуре. Определено, что в процессе формирования композитной структуры фрактальное распределение изменяется существенно. С увеличением времени науглероживания стали Р5М6 распределение локальных фрактальных размерностей перестает быть мультимодальным, что говорит о том что, поверхность постепенно становится однородной.

На характер фрактального распределения влияют размеры измерительного и масштабного окон. При масштабе $\delta = 8$ в окрестности значения фрактальной размерности полезной составляющей появляется «тяжелый хвост» фрактального распределения, достигающий стабильной величины 10-20%.

Построение фрактальной сигнатуры позволяет различать самоподобные объекты и определять размер некоторых элементов, что позволяет оценивать их фрактальную размерность.

В заключение можно отметить, что фрактальные методы обработки изображений поверхностей в широком смысле основаны на той

части информации, которая при классических методах безвозвратно теряется, что приводит к потере информации о свойствах поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. - 784 с.:ил.
2. Черноиваненко Е.А., Губенко С.И., Мовчан А.В., Бачурин А.П. Получение композитной структуры в приповерхностном слое инструмента на базе литой быстрорежущей стали Р6М5 //Вісник Дніпропетровського університету. – Випуск 4. Том 19. – Дніпропетровськ, 2011. – С. 188 – 192.
3. Журба А.О., Михальов О.І. Побудова фрактальних розподілень поверхонь Пенроуза //Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(73). – Дніпропетровськ, 2011. – С.105-110.
4. Потапов А.А., Гуляев Ю.В., Никитов С.А., Пахомов А.А., Потапова В.А.. Новейшие методы обработки изображений. / Под ред. А.А. Потапова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
5. Потапов А.А., Герман В.А. О методах измерения фрактальной размерности и фрактальных сигнатур многомерных стохастических сигналов //Радиотехника и электроника. – 2004. – Т. 49, №12. – С.1468 – 1491.
6. Журба А.А., Михалев А.И., Губенко С.И. Анализ фрактальных характеристик поверхностей стали в процессе формирования композитной структуры //Сучасні проблеми металургії. – 2011. – №14. – С.93 – 99.

Т.М. Буланая, Е.В. Воронюк

РАЗРАБОТКА НЕЙРОИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ МОНИТОРИРОВАНИЯ

Аннотация. В рамках этой работы: была разработана и реализована библиотека для работы с нейронными сетями - Java Neural Network Modeling Framework. Был исследован и реализован алгоритм классификации - Каскадная корреляция, был разработан и реализован программный комплекс с графическим интерфейсом, который позволяет обучать нейронные сети, наблюдать и оценивать процесс обучения, хранить сети на жестком диске для дальнейшего использования.

Ключевые слова: Нейронная сеть, каскадная корреляция, JAVA, JNMF.

Для решения задач анализа накопленных данных можно выделить два класса технологий. На первых стадиях информатизации всегда требуется навести порядок именно в процессах повседневной рутинной обработки данных (накопление, информационный поиск, установления факта наличия/отсутствия зависимости между данными), на что, и ориентированы технологии первичной обработки данных (например, MS Excel [1]). Технологии второго класса — технологии интеллектуального анализа данных Data Mining (например, нейромитатор NeuroShell 2 [2]), являются вторичными и дорогостоящими, по отношению к технология с обработки данных.

Цель работы – разработать гибкую нейроинформационную технологию, которая позволит обобщать и анализировать знания, накопленные экспериментальным путем.

Этапы анализа данных в разработанной нейроинформационной технологии MiningLibs включают: кодирование входов-выходов нейросети (нейросеть работает только с числами); нормирование данных (результаты нейроанализа не должны зависеть от выбора единиц из-

мерения); обучение нескольких нейронных сетей с различной архитектурой (результат обучения зависит, как от размеров сети, так и от её начальной конфигурации); отбор оптимальных сетей, тех которые дадут наименьшую ошибку предсказания на неизвестных данных; оценка значимости и ошибки предсказаний. На рисунке 1 представлена структурная схема нейроинформационной технологии MiningLibs.

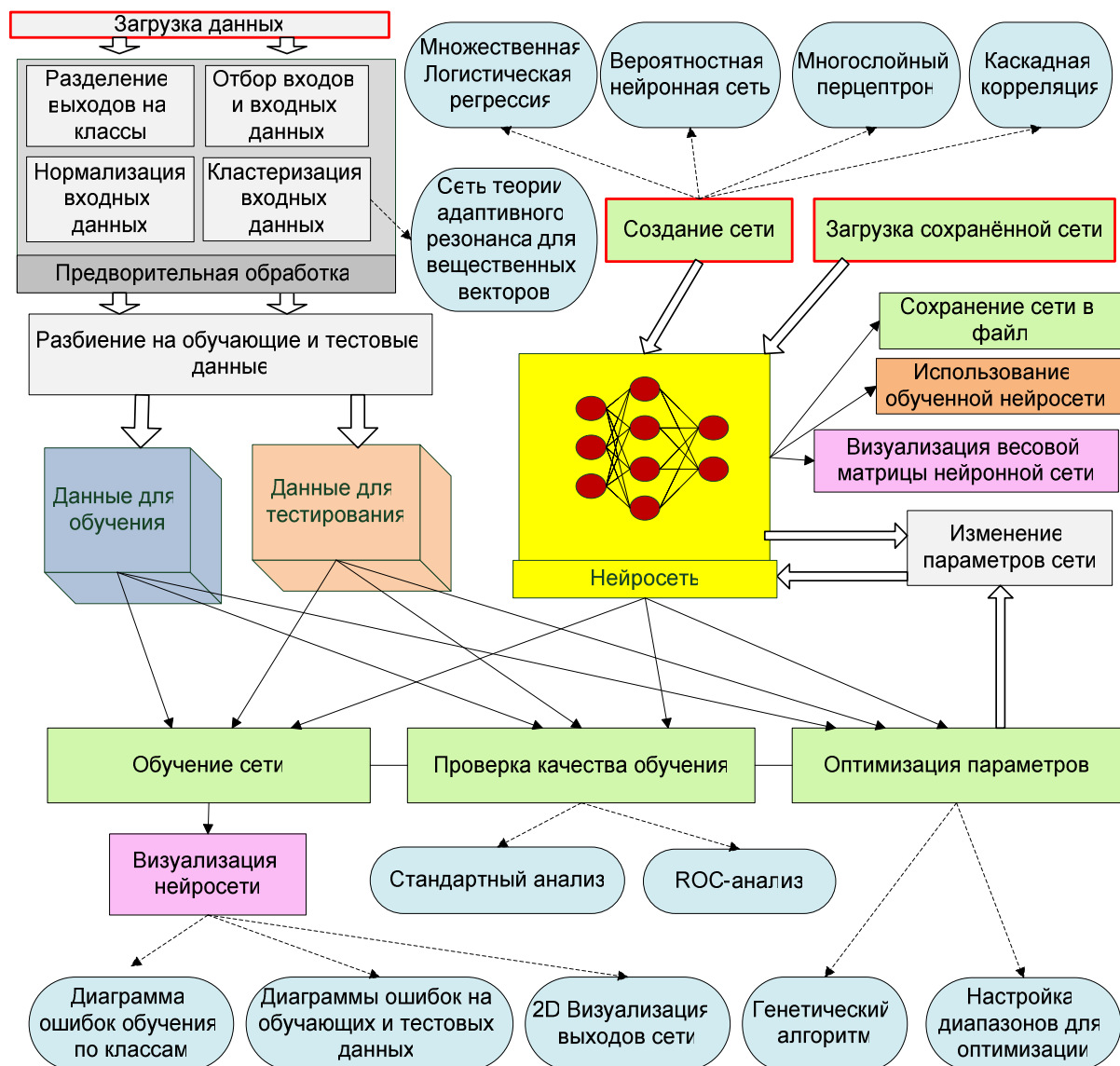


Рисунок 1 - Структурная схема нейроинформационной технологии для анализа данных мониторинирования

Программной реализацией на языке java, предложенной нейроинформационной технологии MiningLibs, является библиотека Java Neural Network Modeling Framework (JNMF)

(<http://sourceforge.net/projects/jnmf-new-gui/>). Разработанная библиотека JNMF удобная в использовании, она позволяет конструировать нейронные сети различной сложности.

В JNMF для работы с нейросетями предусмотрены следующие операции:

- Конфигурирование:
 - Изменение узловых элементов сети (нейронов);
 - Изменение связей;
 - Изменение алгоритмов сети.
- Операции жизненного цикла обучения / работы:
 - Ввод данных;
 - Начало обучения / работы;
 - Наблюдение за процессом обучения / работы;
 - Получение результатов / повтор обучения.

Отличительной чертой нейроинформационной технологии MiningLibs библиотеки JNMF, является наличие реализации алгоритма каскадной корреляции [3].

Алгоритм. Построение архитектуры каскадной корреляции

На вход алгоритма подаются:

1) Параметры:

- E_{min} - минимальная допустимая погрешность сети. Сеть учится до тех пор, пока реальная погрешность не станет меньше этого значения.

- minOutputsLearningSpeed - минимальная скорость обучения исходным нейронам и нейронам кандидатов. Если реальная скорость обучения падает ниже этого значения, то нужно завершить обучение.

- minCorrelationFluctuation - минимальная скорость изменения корреляции нейронов кандидатов. Если реальная скорость обучения падает ниже этого значения, то нужно завершить обучение кандидатам и выбрать победителя.

- candidatesCount – число нейронов кандидатов которые соревнуются.

2) Обучающие данные:

Данные состоят из набора обучающих пар. Каждая i -ая обучающая пара это пара векторов $\{x_i, y_i\}$, где $x_i = \{x_{ij} | j = 1, 2, \dots, n\}$ - входной вектор; $y_i = \{y_{ij} | j = 1, 2, \dots, m\}$ - ожидаемый исходный вектор; Пусть k - количество обучающих пар, тогда обозначим все входные данные матрицей следующего вида:

$$L = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kn} & y_{k1} & y_{k2} & \dots & y_{km} \end{pmatrix}.$$

Обучающие пары расположены в строках этой матрицы.

$$\text{Тогда } L_{ij} = \begin{cases} x_{ij} & , \text{якщо } 1 \leq j \leq n \\ y_{ij-n} & , \text{якщо } n+1 \leq j \leq n+m \end{cases}$$

Нормирование данных

1. Нормировать обучающие данные

1.1. Вычислить минимальные и максимальные значения в каждом столбцы матрицы L : $\min_j = \min_{i=1..k}(L_{ij})$; $\max_j = \max_{i=1..k}(L_{ij})$, $j = 1..n+m$

1.2. Привести все элементы матрицы L к интервалу $[-1, 1]$.

$L^{\#}_{ij} = -1 + \frac{2(L_{ij} - \min_j)}{\max_j - \min_j}$, $i = 1..k$; $j = 1..n+m$. В результате получим нормированные данные $L^{\#}$.

Построение начальной структуры сети (рис. 2)

2. Построить начальный вид сети (2 слоя), которая может работать с обучающими данными.

2.1. Построить первый слоя сети. Число нейронов в нем будет равнять n - размера входного вектора данных. Активационная функция вида $f(x) = x$

2.2. Создать второй (он же последний) слой сети. Число нейронов в нем будет равнять m - размера исходного вектора данных. Активационная функция, суживающая в диапазоне $[-1, 1]$: $f(x) = \tanh(x)$

2.3. Попарно связать все нейроны из первого слоя с нейронами последнего слоя.

Обучение исходным нейронам сети (эпоха t)

3. Непосредственное обучение синапсов исходных нейронов. Для каждой обучающей пары $L_p^k = \{x_p, y_p\}$ данных $L^k(t)$ (где t - номер текущей эпохи обучения входным нейронам сети) осуществить шаг обработки сети:

3.1. Подать входной вектор x_i следующей учебной пары L_p^k на вход сети.

3.2. Обработать сетью входной вектор.

3.3. Для каждого нейрона в исходном слое выполнить:

3.3.1. Собрать и сохранить информацию о данном исходном нейроне:

3.3.1.1. Сохранить уровень активации нейрона на данном шаге o_{pj} .

3.3.1.2. Сохранить величину net нейрона на данном шаге.

3.3.1.3. Сохранить погрешность нейрона на данном шаге $[e_{pj} = (o_{pj} - y_{pj})f'(net)]$ где p – номер обучающей пары (или номер шага), j – номер исходного нейрона, o_{pj} – активация j -го исходного нейрона на p -том шаге; $f'(net)$ – значение производной от активационной функции нейрона в точке net].

3.3.1.4. Сохранить величину сигнала всех синапсов на данном шаге, которые входят в данный нейрон.

3.3.2. Научить все синапсы, что входят в данный исходный нейрон, методом Back Propagation или Quick Propagation [4] .

3.4. Если еще остались не обработанные обучающие пары (т.е. $p < k$), тогда перейти к шагу 3.1.

4. Вычисление погрешности сети. Вычислить общую погрешность сети за формулой: $E(t) = \frac{1}{2k} \sum_p \sum_j (o_{pj} - y_{pj})^2$, где p – номер обу-

чающей пары (или номер шага). j – номер исходного нейрона. o_{pj} – активация j -го исходного нейрона на p -том шаге.

5. Проверка условия о достаточной минимизации погрешности. Если $E^{(t)} < E_{\min}$ это перейти к шагу 16.

6. Получение новой последовательности обучающих пар. Перемешать все обучающие пары случайным чином. Иначе говоря, поменять местами строки матрицы $L^{(t)}$ произвольным образом, не изменяя положение элементов в строке и не изменяя собственных значений элементов. Запишем такое преобразование как $L^{(t+1)} = \text{random_rows_positions}(L^{(t)})$. Делаем это для того, чтобы полученная сеть не была привязана до одной конкретной последовательности обучающих пар.

7. Проверка скорости обучения. Если $|E^{(t)} - E^{(t-1)}| > \text{minLearningSpeed}$, где t – номер эпохи; $E^{(t)}$ – текущая общая погрешность сети; $E^{(t-1)}$ – предыдущая общая погрешность сети (на предыдущей эпохе), ИЛИ если $E^{(t-1)}$ не определено (текущая эпоха, есть первой), то перейти к шагу 4.

Подготовка к этапу обучения нейронам кандидатов (рис 3.)

8. Создание нового слоя. Добавить новый слой, перед исходным слоем.

9. Добавление нейронов кандидатов. Добавить в новый слой `candidatesCount` нейронов кандидатов. Активационная функция $f(x) = \tanh(x)$.

10. Соединение нейронов кандидатов с другими нейронами сети. Для каждого нейрона кандидата соединить его синапсами со всеми нейронами из предыдущих слоёв (с нейронами как первого(входного) слоя, так и с нейронами, которые были добавлены в процессе строительства сети). Вес каждого синапсу берется случайно в диапазоне $[-1, 1]$.

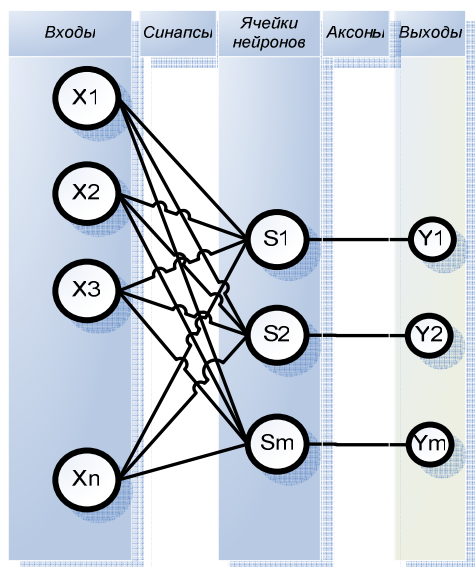


Рисунок 2 - Начальная структура НС каскадная корреляция

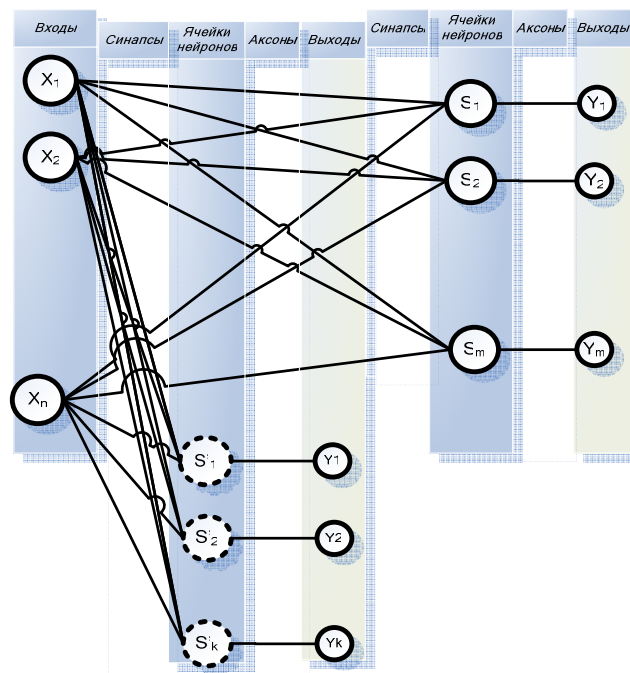


Рисунок 3 - Соревнования нейронов кандидатов

Организуется новое соревнование. Опять будет отобран и добавлен в сеть нейрон, чья корреляция была максимальной

Обучение нейронам кандидатов (эпоха обучения нейронам кандидатов). Прогонка обучающих пар и сбор информации о нейронах кандидатов и исходных нейронов. Для каждой обучающей пары $L_p^t = \{x, y\}$ данных (где t - номер текущей эпохи обучения входным нейронам сети) выполнить шаг обработки сети:

10.1. Подать входной вектор x_i следующей обучающей пары L_p^t на вход сети.

10.2. Обработать сетью входной вектор.

10.3. Собрать и сохранить информацию о каждом нейроне кандидата:

10.3.1. Сохранить уровень активации нейрона на данном шаге.

10.3.2. Сохранить величину net нейрона на данном шаге.

10.3.3. Сохранить величину сигнала всех синапсов на данном шаге, которые входят в данный нейрон.

10.4. Для каждого нейрона в исходном слое выполнить:

10.4.1. Собрать и сохранить информацию о данном исходном нейроне:

10.4.1.1. Сохранить уровень активации нейрона на данном шаге.

10.4.1.2. Сохранить величину net нейрона на данном шаге.

10.4.1.3. Сохранить погрешность нейрона на данном шаге $[e_{pj} = (o_{pj} - y_{pj})f'(net)]$ где p – номер шага, j – номер исходного нейрона, o_{pj} – активация j -го исходного нейрона на p -том шаге; $f'(net)$ – значение производной от активационной функции нейрона в точке net].

10.4.1.4. Сохранить величину сигнала всех синапсов на данном шаге, которые входят в данный нейрон.

10.5. Если еще остались необработанные обучающие пары (т.е. $p \leq k$), тогда перейти к шагу 11.1.

11. Вычисление корреляции для каждого кандидата. Для каждого нейрона кандидата вычислить величину корреляции за формулой: $C_k^{(t^*)} = \sum_j |\sum_p o_{pk}(e_{pj} - \bar{e}_j)|$, где t^* – номер эпохи; k – номер нейрона кандидата; p – номер шага; j – номер исходного нейрона; o_{pk} – активация k -го нейрона кандидата на p -том шаге; $e_{pj} = (o_{pj} - y_{pj})f'(net)$ – погрешность j -го нейрона на p -том шаге (параметры этой формулы уже были описаны выше); $\bar{e}_j = \frac{1}{p} \sum_p e_{pj}$ – средняя погрешность j -го нейрона по всему шагам.

12. Вычисление максимальной корреляции.

$$C_{\max}^{(t^*)} = \max_k C_k^{(t^*)}$$

13. Проверка скорости роста корреляции. Если $|C_{\max}^{(t^*)} - C_{\max}^{(t^*-1)}| > \text{minCorrelationFluctuation}$, $C_{\max}^{(t^*)}$ – текущее значение максимальной корреляции (на данной эпохе) $C_{\max}^{(t^*-1)}$ – предыдущее значение максимальной корреляции (на предыдущей эпохе),

ИЛИ если $C_{\max}^{(t^*-1)}$ не определено (текущая эпоха обучения кандидатом, есть первой), то перейти к шагу 14.

Завершение этапа обучения нейронам кандидатов (выбор победителя) (рис.4.)

14. Перевести сеть в состояние «обучение синапсов исходных нейронов».

14.1. Удалить всех нейронов кандидатов кроме победителя (с максимальной корреляцией).

14.2. Соединить выход кандидата победителя с каждым из нейронов исходного слоя. Вес синапсов $\omega = 1$ (рис. 5.).

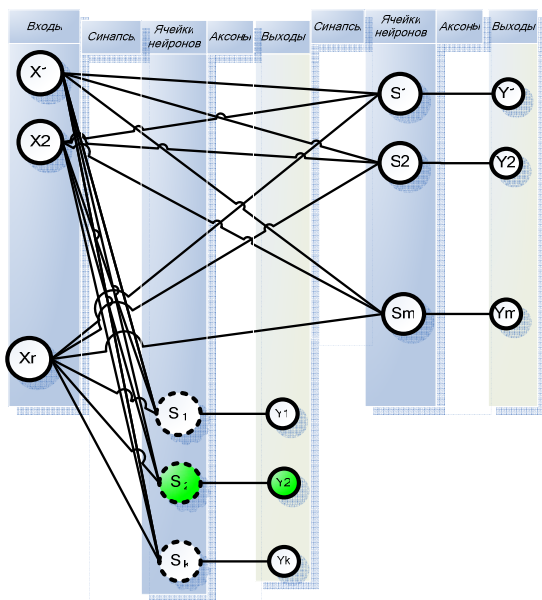


Рисунок 4 - Победителем выбран нейрон, который показал наибольшую корреляцию

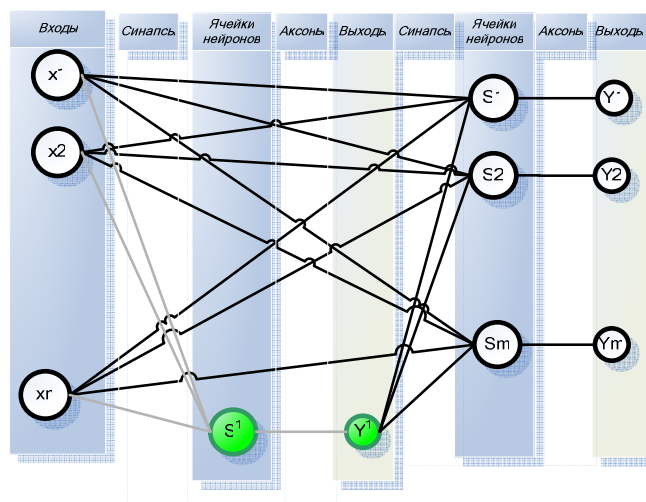


Рисунок 5 - Победитель связывается с выходным слоем, а его входные веса «замораживаются», а остальные кандидаты отбрасываются

14.3. Перейти к шагу 3.

15. Непосредственное обучение синапсов нейронов кандидатов. Для каждого нейрона кандидата выполнить:

15.1. Для каждого входного синапсу вычислить величину изменения веса: $\Delta\omega_i = \sum_p (\delta_p I_{pi})$, где i - номер синапсу; I_{pi} - сигнал i -го синапсу на p -том шаге; $\delta_p = \sum_j \text{sign}(\sum_k o_{pk}(e_{pj} - \bar{e}_j)) (e_{pj} - \bar{e}_j) f'(net)$, где k - номер нейрона кандидата; sign - функция, которая возвращает -1

если значение аргумента < 0 или 1 в противоположном случае; net – величина net нейрона кандидата; $f'(net)$ – значение производной активационной функции нейрона кандидата; e_{pj} , $\bar{e}_j$ – уже были описаны выше.

15.2. Изменить вес синапсу $\omega_l^{(n+1)} = \omega_l^{(n)} + \Delta\omega_l^{(n)}$, где n – номер эпохи.

16. Перейти к шагу 9.

Конец

17. Сеть научена – КОНЕЦ

Следует отметить, что в алгоритме каскадной корреляции применялись методы обучения с учителем. Для оптимизации работы процедуры построения архитектуры каскадной корреляции, был реализован подбор параметров сети на базе генетических алгоритмов, а оценки качества модели каскадной корреляции применялся инструмент ROC-анализа.

Главные преимущества нейроинформационной технологии Minigibs библиотеки JNMF является:

- **Мощность.** Модель нейронной сети JNMF есть абстрактной. Она не привязана, к какой либо предметной области и не заточена под конкретный класс задач (пример, использования библиотеки[5,6]). Библиотека JNMF позволяет конструировать нейронные сети различной сложности, со статической или динамической структурой.

- **Удобство.** Если пользователь знаком с теорией нейронных сетей, то использовать библиотеку будет очень легко. Библиотека содержит набор стандартных компонент, предназначенных для решения типичных задач (например, алгоритм Обратного распространения).

- **Гибкость.** Библиотека JNMF построенная на принципах объектно-ориентированного программирования. Все ключевые компоненты (структурные компоненты, алгоритмы) абстрактные. Поэтому пользователь может писать свои компоненты и использовать их на месте базовых, тем самым расширяя функциональность библиотеки.

Теоретически, используя JNMF можно решить класс задач, которые подразумевают использование нейронных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.office.microsoft.com
2. www.neuroshell.com
3. The Cascade-Correlation Learning Architecture Scott E. Fahlman and Christian Lebiere, CMU-CS-90-10, 1991.
4. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 344 с.
5. Застосування нейронної мережі в задачах аналізу газового оточення сенсорів / Т. М. Булана, Є. В. Воронюк, І. В. Гомілко, О. Ю. Ляшко, // Проблеми прикладної математики та комп'ютерних наук: тематична наук. конф. за підсумками наук.-досл. роботи ДНУ за 2007 – 2008рр.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 22.
6. Анализ информативных акустических параметров при моделировании процесса струйного измельчения / Н.С. Прядко, Т.М. Буланая, Л.Ж. Горобец, В.Л. Баранов, Е.В. Воронюк, Р.А. Гавриленко // Системные технологии. – 2011. – Т.2. – с. 94 – 99.

В.Н. Журавлёв, И.В. Жуковицкий

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПРИЕМНИКА РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ

Аннотация. Рассматривается задача, суть которой состоит в раскрытии и анализе импульсного процесса психофизиологического анализа речевых сигналов. Разработан метод анализа связи управляющих параметров центральной нервной системы с физиологическими органами рецептора слуха.

Ключевые слова: Импульсный речеслуховой процесс, синергетика, импульсная модель рецептора слуха.

Введение. Постановка задачи.

Настоящая статья является продолжением публикации [1], в которой рассматривается дискретная модель речевого источника сообщений. Слуховая система является приемником информации звуковых сигналов, как первой, так и второй сигнальных систем, т.е. формы и информационного содержания звуков речи. Наиболее доступны и хорошо изучены [2,3] физиологические органы и процессы обработки звуковых сигналов в периферической части слуховой системы, которая, в соответствии с современными теориями, выполняет функции:

- двух разнесенных акустических антенн (наружное ухо), которые принимают, локализуют и субъективно частотно-избирательно усиливают речевые сигналы (РС);
- амплитудно-адаптивного акустомеханического усилителя (среднее ухо), который, под управлением центральной нервной системы (ЦНС) нелинейно изменяет свой субъективный комплексный коэффициент $\dot{k}^{su}(\omega, t)$ передачи;
- психофизиологического анализатора параметров речевых сигналов (РС) и механико-электрического преобразователя (внутреннее ухо), который осуществляет идентификацию информационных

признаков РС, преобразует их в дискретные двоичные электрические импульсы центральной нервной системы (ЦНС).

Информационному анализу природного слухового процесса посвящено большое количество публикаций о научных исследованиях [2,3] и монографий [4 – 6], что свидетельствует о незавершенности современных теорий речеобразования и слуха [7].

Современная теория идентификации РС основана на методах спектрального анализа идентификации амплитуды гармонических составляющих сложного звука. Какого-либо экспериментального доказательства и формализованного представления данная теория не имеет, она не поясняет процессы: восприятия высоты тона и громкости РС а также аналого-цифрового преобразования параметров РС в двоичные импульсы нейронов рецептора слуха. Можно отметить, что управляющие функции ЦНС в слуховом процессе исследованы не достаточно полно [10].

Целью исследований настоящей статьи является решение задачи, суть которой состоит в раскрытии и анализе противоречия дискретного характера психофизиологической информационной самоорганизации природного слухового процесса и спектральными методами его анализа, базирующимися на гипотезе о локальном постоянстве параметров речевого тракта.

Основы синергетической методологии синтеза и анализа РС изложены в работах [11,12], однако в них не раскрыт метод восприятия высоты тона и громкости РС, не раскрыты процессы аналого-цифрового преобразования речевых сигналов в дискретные импульсы центральной нервной системы, а также связь скорости передачи речевой информации в канале связи с быстродействием слуховых нейронов.

Основная часть

На основании анализа [2–6] и выводов работы по исследованию слуховой системы [7] психофизиологический комплекс органов наружного и среднего уха можно представить как подсистему, управляемую ЦНС по коэффициенту передачи скорости изменения звукового давления РС. Линейность системы для первой производной сохраняется в частотном диапазоне $\Delta\Omega \approx (0 - 4000)\text{Гц}$. Слуховой рецептор внутреннего уха управляется ЦНС сигналом отоакустической эмиссии (ОАЭ) [13]. Последний поступает с задержкой $\approx 10\text{ms}$, управ-

ляет внешними волосковыми клетками (ВНК) и представляет собой внутренний (для системы рецептор–ЦНС) образ идентифицируемого РС. Данный процесс можно представить как оптимальный (корреляционный) прием временной функции РС.

Формулировка гипотезы. Принято считать [5], что процессы синтеза и анализа речевого сигнала осуществляются центральной нервной системой человека дискретно двоичными импульсными сигналами нейронов. В настоящее время доказано [14,15], что функционирование эволюционирующих природных биологических объектов определяется нелинейными стохастическими пространственно-временными диссипативными процессами открытых систем. Информационное и энергетическое взаимодействие исследуемых процессов целесообразно анализировать, беря в основу методологию синергетики и открытых систем [14] которая позволяет сформулировать гипотезу слухового импульсного процесса энергоинформационного обмена информационных подсистем объекта исследований.

Синергетический энергоинформационный процесс психофизиологической самоорганизации слуховой подсистемы, осуществляющей анализ энергии $\Delta E[s(t, \Delta t)]$ и энтропии $\Delta H[s(t, \Delta t)]$ сигнала фонемы $s(t, \Delta t)$ на интервале времени T_p , состоит из двух, параллельных во времени, дополняющих друг друга, компонент:

энергетической, которая осуществляет анализ эффективной

$$E_{eff}(t) = f^E[s(t)], t \in [T_p] \quad (1)$$

и дифференциальной

$$\Delta E(t, \Delta t) = f^{\Delta E}[s(t, \Delta t)], t \in [\Delta t] \in [T_p] \quad (2)$$

энергии РС;

информационной, которая осуществляет анализа энтропии $\Delta H(t, \Delta t)$ – информационных интервалов времени Δt между соседними сигналами речевой подсистемы диктора

$$\Delta H(t, \Delta t) = f^H[s(t, \Delta t)]. \quad (3)$$

Энергетический процесс осуществляется физиологическими органами среднего и внутреннего уха. Системообразующим фактором процесса маскировки слуха среднего уха является факт стабилизации, осредненной на интервале времени Δt^{su} , энергии

$$E(t) = const, t \in [\Delta t^{su}] \in [T_p] \quad (4)$$

сигнала фонемы по функции эффективной энергии $E_{eff}[\xi(t)]$ сигналов внешних помех.

Системообразующей функцией рецептора слуха улитки внутреннего уха будет процесс идентификации приращений энергии диссипации сигнала турбулизации.

Информационный процесс анализа энтропии $\Delta H(t, \Delta t) = f^H[s(t, \Delta t)]$ сигнала фонемы $s(t, \Delta t)$ происходит в основной мембране улитки внутреннего уха под управлением ЦНС. Системообразующим фактором информационного процесса будет факт полного снятия энтропии с информации $I[s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)]$ сигнала обратной связи самоорганизации $s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)$ аллофона принимаемой фонемы

$$I[s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)] = - \sum_j \Delta H_i(t, \Delta t_j), \quad (6)$$

который синтезирует ЦНС на основании предыдущего опыта успешной реализации её приема.

Системообразующим фактором слуховой подсистемы будет факт успешной идентификации сигнала фонемы $s_i(t, \Delta t)$, который включает в себя факт реализации энергетической функции адаптации среднего уха и равенства нулю разницы мгновенной скорости $\Delta c^H(t, \Delta t) = 0$, либо единице условной энтропии $H[s_i(t, \Delta t) / s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)] = 1$ и энергии $\Delta E[s_i(t, \Delta t) / s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)] = 1$ принимаемого сигнала $s_i(t, \Delta t)$ по сигналу обратной связи самоорганизации $s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)$.

$$\begin{aligned} E_{eff}(t) &= const, \\ I[s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)] &= \sum_j \Delta H_i(t, \Delta t_j), \\ \Delta c^H(t, \Delta t) &= 0, \\ H[s_i(t, \Delta t) / s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)] &= 1, \\ \Delta E[s_i(t, \Delta t) / s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)] &= 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Системообразующая функция слуховой подсистемы должна отображать последовательность психофизиологического процесса самоорганизации, осуществляющего анализ сигнала $s_i(t, \Delta t)$ в части снятия энтропии $\Delta H[s_{i-1}^{occ}(t, \Delta t)]$ с сигнала обратной связи ЦНС:

С учетом обобщения вышеизложенного, на основе синергетического подхода к анализу открытых систем, импульсную модель слуховую подсистему можно представить в виде следующей функциональной схемы (рис. 1).

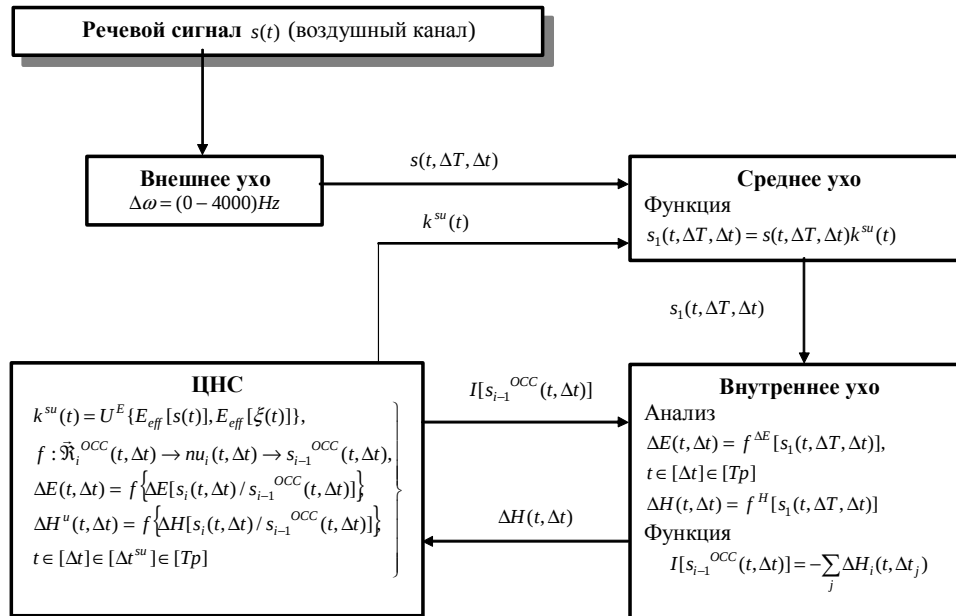


Рисунок 1 - Информационная психофизиологическая функциональная модель слуховой системы

Анализ модели слуховой системы

Проведем структурно – функциональный анализ гипотезы процесса самоорганизации системы слуха с позиции идентификации параметров сигналов турбулизации физиологическими органами слуха.

Энергетический анализ канала связи диктор – слуховой рецептор аудитора. На данном этапе не будем учитывать влияние помех канала связи, т.к. считаем, что анализ этого процесса является отдельной научно-технической задачей.

Кинетическая энергия РС $\Delta E_k(t, \Delta t)$ в канале связи определяется

выражением $\Delta E_k(t, \Delta t) = \frac{m(t, \Delta t)\vec{c}_0^2}{2}$, где $m(t, \Delta t)$ – масса воздуха,

пропорциональная звуковому давлению $P(t) = s(t)$, $\vec{c}_0$ – вектор скорости звука в канале связи. Часть энергии РС $\Delta E_{ku}(t, \Delta t)$, принятая мембраной среднего уха, перемещает механическую систему «косточки среднего уха – перилимфа внутреннего уха» с постоянной массой m_u . Пренебрегая на данном этапе потерями энергии в системе слуха, применяя закон сохранения энергии можно записать

$\frac{m(t, \Delta t) \bar{c}_0^2}{2} = \frac{m_u \bar{v}_s^2(t)}{2}$, где $\bar{v}_s^2(t)$ – квадрат вектора скорости перемещения перилимфы, пропорциональный информационному изменению звукового давления РС $\bar{v}_s^2(t) = f[s(t)]$. В результате приема РС масса m_u механической системы физиологических органов приобретает вектор момента количества движения $\bar{M}(t) = m_u \bar{v}_s(t)$. Образующая основной мембраны улитки может быть представлена логарифмической спиралью. Попадая овальное окно улитки момент количества движения $\bar{M}(t)$ воздействует под некоторым углом на мембрану Рейснера и раскладывается на нормальную и тангенциальную составляющие. Энергия нормальной составляющей возбуждает колебания базилярной мембраны, тангенциальная составляющая проходит дальше по внутреннему волноводу тела улитки, теряя свою энергию по закону логарифма. Этим процессом обеспечивается механизм чувствительности слуха к логарифму звукового давления, подтверждая закон Вебера-Фехнера [4]. Улитковый ход, суживаясь перпендикулярно образующей, по мере удаления от овального окна, расширяется по оси улитки, обеспечивая постоянство площади поперечного сечения и, тем самым, постоянство информационной скорости движения перилимфы по образующей мембраны Рейснера.

Гипотеза процесса идентификации информационных интервалов времени. В рецепторе улитки внутреннего уха выполняется анализ функции квадрата скорости движения перилимфы. В результате анализа должны идентифицироваться интервалы времени Δt_i между изменениями знака вектора скорости $\bar{v}_s^2(t)$. На данном этапе необходимо акцентировать внимание на фактах:

- складки на завитках основной мембраны улитки образуют «лестницу», которая инициирует пульсации скорости и предпосылки к синтезу процесса турбулизации при достижении скорости критического значения, определяемого числом Рейнольдса для перилимфы;
- завихрений перилимфы, наблюдаемых Бекеши [2] на участках основной мембраны при идентификации энергии входного сигнала улитки.

Выделим участок основной мембраны протяженностью $\Delta x_i \rightarrow 0$, содержащий один ряд ВНК и соответствующую ему ВВК,

которой соответствует субъективное значение скорости $\vec{v}_s^2(t)$ энергии $\Delta E_i(t, \Delta t)$ (11). В начальный момент времени t_0 (отсутствие РС $s(t)$) внутренние физиологические органы перегородки улитки флуктуируют под действием внутренних шумов $\xi^{ЦНС}(t)$ организма, которые не имеют информационной составляющей. Воздействие момента импульса движения $\vec{M}(t)$ РС вызывает процесс начала генерации вынужденных колебаний базилярной мембраны, которая выполняет функции генератора сигнала стохастической синхронизации процесса адаптации слуховой системы аудитора. Колебания мембраны уменьшают поперечное сечение улиткового хода, при этом на участке Δx_i в момент изменения знака скорости течения перилимфы, формируются условия синтеза процесса турбулизации её потока. Этот процесс увеличивает вязкость перилимфы на участке Δx_i и позволяет идентифицировать место на образующей покровной мембраны Δx_i , соответствующее энергии РС. Точка Δx_i фиксируется i – ой ВВК и передается в ЦНС.

ЦНС в течение интервала времени $\approx 10ms$ анализирует энергию и фазовые переходы функции скорости, выбирает из базы данных подходящий аллофон принимаемой фонемы и направляет его образ в цепь обратной связи самоорганизации – ВВК покровной мембраны. Основываясь на результатах исследований эффекта ОАЭ [13], в которых определено увеличение акустического импеданса внутреннего уха во время действия сигнала ОАЭ, можно предположить, что каждая из L ВВК выполняют функцию нуля – органа в информационной цепи обратной связи самоорганизации «слуховой рецептор – ЦНС». ЦНС анализирует значения параметров дифференциальной энергии $\Delta E(t, \Delta t)$ и интервала времени Δt_i её изменения. Энергия РС идентифицируется дискретно, количество её уровней соответствует количеству ВВК, максимум шкалы энергии расположен в начале улитки, возле овального окна, минимум возле вершины.

Амплитуды колебаний физиологических органов слухового рецептора и линейность преобразований всех сигналов ограничена динамическим диапазоном линейности слуховой системы. При изменении энергии сигнала $\Delta E(t, \Delta t)$ она поддерживается в динамическом диапазоне рецептора слуха путем адаптации коэффициента передачи

среднего уха. Интервал времени адаптации определяет протяженность протекания процессов предмаскировки и постмаскировки слуха, в течение которых органы рецептора находятся вне их рабочего динамического диапазона и не способны идентифицировать сигнал. Анализ переходных процессов в улитке выходит за рамки объекта исследований и представляет собой самостоятельную научно-техническую задачу.

Результаты экспериментальных исследований (планируется отдельно опубликовать их результаты) подтвердили справедливость предложенных гипотез.

Выводы

Проведенный теоретический и экспериментальный анализ импульсной модели приемника речевых сообщений позволяет сделать следующие выводы.

Аналитически решена проблема, заключающаяся в противоречии дискретного характера психофизиологического информационного управления природным речеслуховым процессом и аналоговыми методами его анализа.

Разработана импульсная модель психофизиологического анализа РС, адекватность которой экспериментально подтверждена методами временного, статистического и спектрального анализа фонем РС.

Предлагаемая модель является расширением и объединением существующих моделей слуха на основе методологий синергетики и биологических функциональных систем. Современные модели речеобразования и слуха, базирующиеся на методе интегральной обработки параметров и характеристик процесса речевого обмена и основанные на ограничениях гипотезы о локальном постоянстве параметров речевого тракта, представляют частный случай предлагаемой модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлёв В.Н., Жуковицкий И.В., Жуковицкий В.И. Импульсная модель речевого источника сообщений. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Днепропетровск, – 2010. – № 14. – С. (в печати).
2. Бекеши Г., Розенблит В.А. Механические свойства уха. В кн. Экспериментальная психология (том 2). – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 1035с.

3. Цвикер Э., Фельдкеллер Р. Ухо как приемник информации. /Пер. с нем. под ред. Б.Г. Белкина. – М.: Связь, 1971. – 225с.
4. Психоакустические аспекты восприятия речи. Механизмы деятельности мозга / Под. ред. Н.П. Бехтеревой. – М.: Наука, 1988.–504 с.
5. Физиология речи. Восприятие речи человеком. (Чистович Л.А., Венцов А.В., Гранстрем М.П. и др.) В серии «руководство по физиологии» – Л: «Наука», 1976. – 388 с.
6. Фланаган Дж. Анализ, синтез и восприятие речи: Пер. с англ./ Под ред. А.А. Пирогова. – М.: Связь, 1968. – 396 с.
7. Галунов В.И. Акустические проблемы речевой акустики. Труды XIII сессии РАО, т.3, 2003. С.16.
8. Helmholtz Н. von, Die Lehe von Tonempfindungen. Brannschweig, Vieweg, 1863.
9. Фант Г. Акустическая теория речеобразования: Пер. с англ./Под ред. В.С. Григорьева. – М.: Наука, 1964. – 284 с.
10. Галунов В.И. Современные речевые технологии (обзорная статья). [Электронный ресурс] – СПб., 2008. – Режим доступа: <http://www.auditech.ru/article/SpecomRus.doc> свободный. – Загл. с экрана.
11. Журавлёв В.Н., Архипов А.Е. Системный анализ энергоинформационного обмена на ОИД. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. 2008. – № 16. – С. 26 – 34.
12. Журавлёв В.Н. Синергетическая концепция энергоинформационного обмена речеслуховой системы. Адаптивні системи автоматичного управління//Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Дніпропетровськ: Системні технології, – Випуск 11 (31) 2007. ISSN 1562-9945. – С. 128–135.
13. Найда С.А. Объективная аудиометрия на основе формулы среднего уха – новый метод исследования и дифференциальной диагностики слуха. Электроника и связь. – 2004. – №23 – С. 66–70.
14. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. – М.: Мир. 1965. – 512 с.
15. Климонтович Ю.Л. Турбулентное движение и структура хаоса. – М: Ком. книга, 2007. – 328 с.

В.В. Кабацкая, В.А. Тутык, А.Д. Рожков

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОСТА ПОКРЫТИЯ ПРИ
МИКРОДУГОВОМ ОКСИДИРОВАНИИ НАПЫЛЕННЫХ**

Аннотация. Рассматриваются модели формирования структуры покрытий оксида алюминия на стали при микродуговом оксидировании. Исследована кинетика роста защитного покрытия на алюминии и его функциональные свойства. Предложена модель формирования слоя Al_2O_3 при МДО.

Ключевые слова: микродуговое оксидирование, модель, рост покрытия, оксид алюминия.

Технология микродугового оксидирования (МДО) на сегодняшний день является наиболее перспективной с точки зрения создания высокотвердых и высокопрочных поверхностных слоев на деталях из алюминиевых сплавов [1, 2]. Потенциальные возможности этой технологии позволяют сформировать модифицированные поверхностные слои, обладающие хорошей адгезией к подложке, высокой микротвердостью - 5 ... 24 ГПа и значительной толщиной - до 400 мкм [1 - 4]. Однако управлять процессом МДО и формировать керамические слои требуемого качества можно лишь в том случае, если в распоряжении имеются не только эмпирические зависимости, но и точные модельные представления о механизме образования упрочненного слоя.

Постановка проблемы

Формирование покрытия является результатом целого комплекса процессов, сложных по своей физической сущности и протекающих одновременно в течение короткого промежутка времени. В ходе его образования важную роль, наряду с электрохимическими, играют диффузионные, химические, плазмохимические и электрофизические процессы [4].

Исследованиям механизма формирования упрочненного МДО-слоя посвящено довольно большое количество исследований [2 - 5]. В частности Л.А. Снежно и В.И. Черненко [5] предложена модель дан-

ного процесса на основе использования явления пробоя аморфной пленки, образующейся на поверхности алюминиевого сплава в доискровой период. По мнению авторов, в пользу этой модели свидетельствует наличие в МДО-слое высокотемпературной модификации оксида алюминия $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунда).

Хотя такое описание процесса МДО и согласуется со многими электрическими явлениями и зависимостями, оно не объясняет конфигурацию кристаллов Al_2O_3 в МДО-слое, которые были описаны в работе [6]. Кроме этого, базируясь на приведенной модели процесса, невозможно объяснить рост толщины МДО-слоя при увеличении времени обработки и повышение микротвердости слоя на 40 - 80 % при увеличении степени предварительной пластической деформации материала заготовки [7].

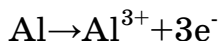
Цель работы – моделирование механизма формирования роста оксидного покрытия, полученного методом МДО на стали с алюминиевым покрытием.

Основная часть

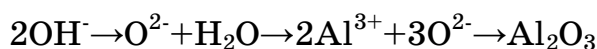
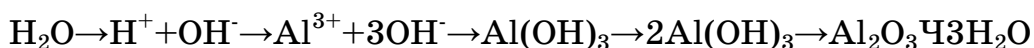
Микродуговое оксидирование основывается на процессе анодного окисления металлов. Установлено, что анодные оксидные пленки на алюминии, формируемые в умеренно растворяющих оксид электролитах, состоят из двух слоев: плотного беспористого и пористого. Пленки, используемые в электролитических конденсаторах, состоят только из плотного слоя и формируются они в электролитах, почти не растворяющих анодный оксид. Эти пленки имеют толщину до 1-3 мкм и обладают электронной и ионной проводимостью[7].

Для роста плотного слоя на алюминии необходимо, чтобы ион Al мог двигаться по направлению к внешней поверхности, т.е. к электролиту, через уже образовавшийся слой оксида, где он встречает ионы OH^- и O^{2-} , что приводит к образованию Al_2O_3 , по реакциям[4]:

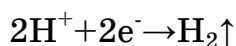
На аноде



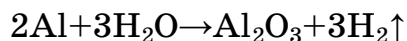
В электролите:



На катоде:



Суммарная реакция:



Таким образом, анодные пленки, получаемые в электролитах, умеренно их растворяющих, состоят из тонкого плотного слоя, формирующегося в начальный период (до 15 сек)[4]. До настоящего времени не разработано общепринятой теории и механизма формирования структуры этих пленок, однако наиболее признание получили модели: физико-геометрическая, коллоидно-электрохимическая и плазменная.

Согласно первой из них в первые секунды анодирования образуется барьерный слой, сначала формирующийся в активных центрах на поверхности металла. Из этих зародышей вырастают полусферические линзообразные микроячейки, срастающиеся в сплошной слой. Под влиянием локального воздействия ионов электролита в нем зарождаются поры.

По коллоидно-электрохимической теории образование пор не является необходимым условием роста пленок, а скорее его следствием. При этом анодный оксид является ориентированным электрическим полем оксида металла коллоидно-полимерной природы она базе бемитно-гидраргиллитных цепей.

На наш взгляд наиболее приемлемой является плазменная теория, которая отвечает на вопросы, связанные со свечением алюминия при анодной поляризации. Согласно данной теории барьерного слоя постоянного типа не существует- он полимеризуется лишь в момент отключения тока из непосредственно примыкающего к аноду очень тонкого слоя холодной двумерной плазмы, находящейся в состоянии непрерывного бурления и обновления.

Материал и методики исследования

Микродуговое оксидирование проводили на экспериментальной установке, включающей: двухэлектродную ячейку, термостат U10, источник питания постоянного тока мощностью $P \approx 5$ кВт, блок измерений и пульт управления. Коэффициент пульсации источника питания $k_{\text{п}}$ составлял 0,05. Исследования проводились в диапазоне рабочих напряжений $U \approx 300 \dots 650$ В и при плотностях тока до $j \approx 15$ А/дм². Исследования проводили в электролите, содержащем силикат и гидроксид щелочного металла, при температуре $T < 308$ К.

Исследовались следующие функциональные характеристики полученных покрытий: коррозионная стойкость керамического по-

крытия исследовалась потенциодинамическим методом (электролит 3% водный раствор HCl, потенциостат П-5848); фазовый состав – рентгенодифрактометрическим методом (рентгеновский дифрактометр ДРОН-2); адгезионная прочность покрытия - методом нанесения сетки царапин, микротвердость – с помощью микротвердомера ПМТ-3.

Основной материал исследований

Установлено, что при МДО для образования сплошной пленки покрытия на первичном алюминии марки А6, длительность процесса должна составлять не менее 1,5 минуты. Динамика ее роста в этот период оценивалась по изменению соотношению площади керамического покрытия $S_{\text{покр}}$ и исходной поверхности образца $S_{\text{пл}}$ ($\Phi = S_{\text{покр}}/S_{\text{пл}}$).

Соответствующая зависимость, приведенная на рис.1, позволяет сделать предположение о трех стадиях образования защитной пленки. На первой из них идет образование зародышей новой фазы и, соответственно, скорость процесса мала. В дальнейшем (2 стадия) рост пленки идет в основном за счет достройки образовавшихся островков покрытия, и с увеличением их боковой поверхности она возрастает. После начала срастания островков эта поверхность уменьшается и, как следствие, снижается темп изменения Φ .

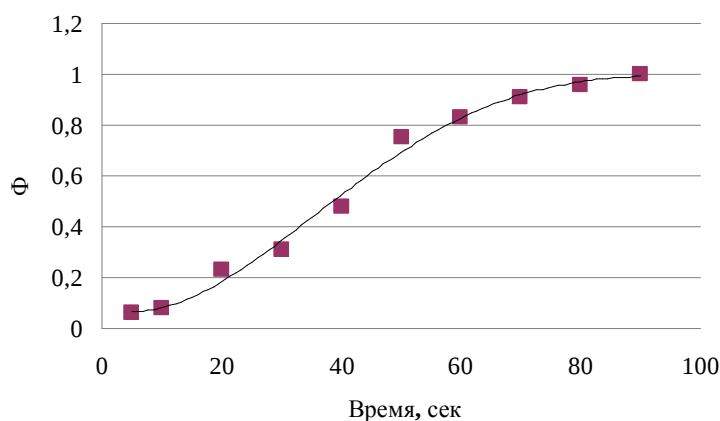


Рисунок 1 – Динамика роста покрытия, при $j = 10 \text{ А/дм}^2$

В процессе МДО на алюминии образуется его оксид. Известно, что он может находиться в нескольких кристаллических формах: $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд), $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\theta\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\chi\text{-Al}_2\text{O}_3$ и др. Как показывают дифрактограммы (рис.2), после МДО в составе покрытия образуется $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Это свидетельствует, что его образование протекало при высоких температурах и, возможно, с участием жидкой фазы. Данная

модификация обладает высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью[6].

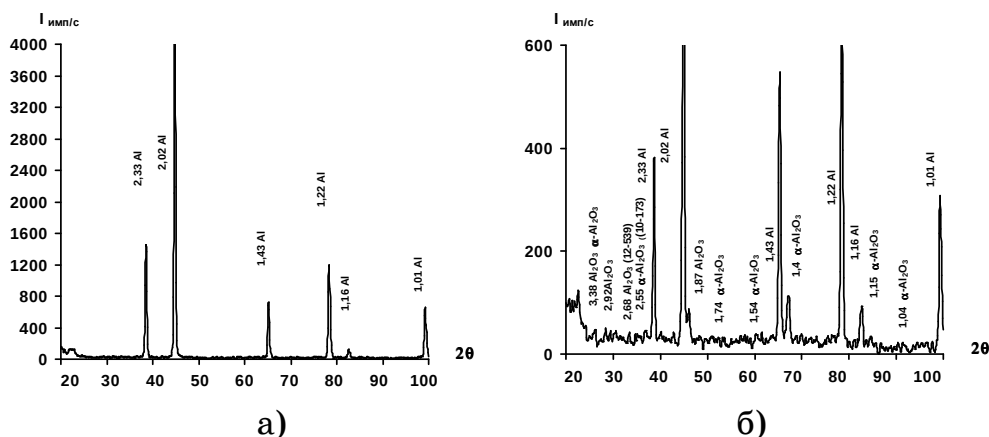


Рисунок 2 – Дифрактограммы: а) – подложка в исходном состоянии; б) – образца с покрытием после МДО

Коррозионные свойства покрытий исследовались методом поляризационных испытаний. Анодная поляризация практически не обуславливает появление токов растворения даже в электролитах, содержащих ионы хлора. Это свидетельствует о достаточно высоких защитных свойствах микродуговых покрытий на алюминии.

Коэффициент трения измерялся в пределах 0,08–0,22. Адгезионная прочность составляла 100 МПа. Микротвердость керамического покрытия достигала до 60 HRC.

На рис.3 приведены кинетические кривые характеризующие рост защитного слоя на алюминии при различных плотностях анодного тока. Для обеспечения условий $j=\text{const}$ в ходе эксперимента изменялось ускоряющее напряжение в диапазоне 300.....600В

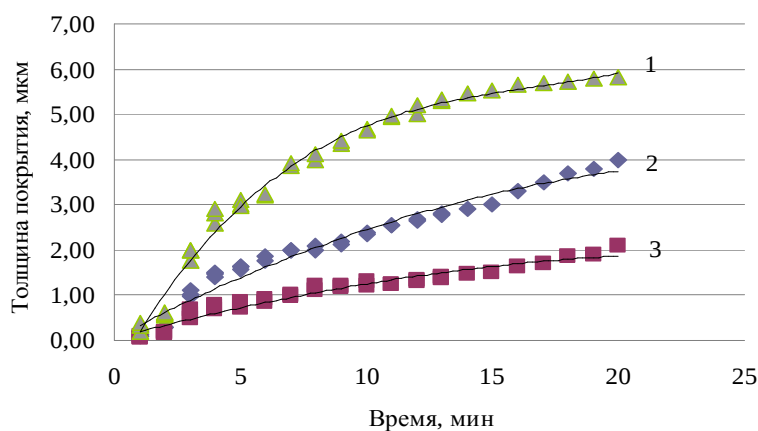


Рисунок 3 – Влияние плотности тока на кинетику роста оксидного покрытия

1 - $j=15 \text{ A/dm}^2$, 2 - $j=10 \text{ A/dm}^2$, 3 - $j=5 \text{ A/dm}^2$

С увеличением длительности МДО скорость роста покрытия уменьшается. Форма полученных кинетических кривых позволяют сделать предположение о параболическом законе изменения во времени толщины защитного слоя:

$$h = k \times \sqrt{\tau}$$

где h – толщина пленки покрытия; k – постоянная; τ – время.

Согласно представлениям [5] при подобранном механизме окисления оксидная пленка на металле растет не только благодаря диффузии его ионов, но и вследствие диффузии кислорода, а зона роста находится главным образом внутри ее самой.

На базе теоретических представлений и результатам исследований была предложена модель возможного механизма роста керамического слоя на алюминии в процессе микродугового оксидирования. В анодном пятне каждой микродуги развивается высокая температура (до 6000 К), значительно превышающая температуру плавления оксида алюминия. Об этом косвенно свидетельствует то, что Al_2O_3 в модифицированном слое практически полностью представлен его высокотемпературной α -модификацией. Диффузионная подвижность алюминия и кислорода в образовавшейся жидкой фазе намного превышает таковые для твердого состояния. Это часто способствует росту керамического покрытия. В локальной зоне алюминиевого слоя, перемыкающей к расплаву Al_2O_3 также резко повышается температура. Это может привести к образованию жидкой фазы, что также обусловит интенсивные встречные диффузионные потоки алюминия к образующемуся оксиду, а кислород – к слою неокисленного металла. Таким образом зоны роста керамического слоя сможет находится и под пленкой Al_2O_3 .

Полученное покрытие характеризуется определенной пористостью [4]. С ростом толщины оксидного покрытия возрастают его электроизоляционные свойства, что обуславливает необходимость повышения напряжения на аноде для соблюдения условий $j = \text{const}$. В область проникновения микродуговых разрядов вовлекается поверхность пор и их устья. Это также способствует росту покрытия под образовавшимся керамическим слоем. Подобный рост оксидной пленки удовлетворительно описывается вышеупомянутым параболическим законом. В настоящее время на основании физической модели разрабатывается математическая модель.

Выводы

На основании экспериментальных исследований предложена модель описывающая рост защитной пленки на алюминии. Ее использование позволило получить функциональные покрытия с высокой износостойкостью, коррозионостойкостью, адгезионной прочностью, а также низким коэффициентом трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутягин Н.И., Хохряков Е.В., Мамаев А.И Влияние состава электролита на износостойкость МДО-покрытий // Технология металлов. 2005. №1. С.36-39.
2. Марков Г.А., Белеванцев В.И., Терлеева О.Н., Шулепко Е.К., Кириллов В.И. Износостойкость покрытий, нанесенных анодно-катодным микродуговым методом // Трение и износ. 1988. Т.9. №2. С.286-290.
3. Горчаков А.И, Щербаков Ю.В., Бородин Н.М. Формирование покрытий увеличенной толщины на сплавах алюминия при микродуговом оксидировании // Технология металлов. 2006. №1. С.39-41.
4. Суминов И.В., Эпельфельд А.В., Людин В.Б Микродуговое оксидирование: теория, технология, оборудование. М: Экомет, 2005. 368с.
5. Чернеко В.И., Снежко Л.А., Папанова И.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом. Л: Химия, 1991. 128с.
6. Алехин В.П., Федоров В.А., Булычев С.И., Тюрпенко О.А. Особенности микроструктуры упрочненных поверхностных слоев, получаемых микродуговым оксидированием // Физика и химия обработки материалов.. 1991. №5. С.121-127.
7. Раkoch А.Г., Хохлов В.В., Баутин В.А, Лебедев Н.А. Модельные представления о механизме микродугового оксидирования металлических материалов и управление этим процессом // Защита металлов. 2006. Т.42. №2. С.173-184.

СОДЕРЖАНИЕ

Ващенко С.В., Маймур Б.Н., Муравьева И.Г., Петренко В.И. Разработка аналитического метода прогнозирования и оценки сопротивления шихт сжатию с учетом их свойств	3
Сергеева О.В., Пивоваров А.А., Фролова Л.А., Дубовик Т.Н. Моделирование процесса плазмохимической обработки газ-жидкость	11
Степанкова Г.А., Баклан І.В. Приховані марковські моделі: класифікація	18
Тогобицкая Д.Н., Гринько А.Ю., Белькова А.И. Минимизация влияния зашумленности входной информации о доменном процессе на описание термодинамического согласования расплавов в горне доменной печи.....	28
Храмов Д.А. Особенности численного моделирования динамики экспериментальной тросовой системы с использованием программных средств на основе языка Python	37
Чалая Л.Э., Чижевский А.В., Шевякова Ю.Ю. Метод формирования запросов в системах поиска мультязычной информации.....	48
Алексеев М.А., Сироткина Е.И. Диагностика и отказоустойчивость программного обеспечения промышленных scada систем ответственного назначения	56
Андрейшина Н.Б. Визначення залежності рівноважної ціни від впливу зовнішніх факторів	64
Дегтярев А.В. Критические нагрузки, действующие на элементы конструкции летательного аппарата при сейсмозрывном воздействии	71
Дорош Н.Л., Храпач Ю.О. Інформаційна система для аналізу ангиограм	81
Каменева И.В., Русакова Н.Е. Использование метода расслоения предиката в морфологии русского языка	86
Карпович О.Я., Онищенко О.А. Оценка свойств однопоршневого герметичного компрессора в режимах регулирования его холодопроизводительности	95

Купін А.І., Іщенко М.О., Музика І.О. Програмне забезпечення підтримки рішень для керування буровибуховими роботами.....	103
Новікова К.Ю., Михальов О.І. Дослідження алгоритмів нечіткої кластеризації в задачах аналізу металографічних зображень	110
Пахомова В.М., Скабалланович Т.І., Алексєєв К.О. Можливість використання безпроводних локальних мереж в інформаційних системах залізничного транспорту	120
Рудакова А.В., Сарафанникова Н.В. Использование фрактальных свойств больших распределенных систем для решения задач оперативного управления	128
Селіванова А.В., Селіванов А.П., Мазурок Т.Л. Нейро-нечітке моделювання управління холодильною установкою для комп'ютерного тренажера	136
Слесарєв В.В., Желдак Т.А., Гаранжа Д.М. Застосування тензометричних датчиків в системі прийняття рішень керування сортопрокатним виробництвом	142
Дерев'янюк О.І., Ватченко О.М. Ідентифікації параметрів одновимірних відображень у перетині Пуанкаре.....	151
Журба А.А., Михалев А.И., Губенко С.И., Черноиваненко Е.А. Анализ изменений фрактальной размерности и ее распределения в процессе формирования композитной структуры быстрорежущей стали	155
Буланая Т.М., Воронюк Е.В. Разработка нейроинформационной технологии для анализа данных мониторирования	165
Журавлєв В.Н., Жуковичский И.В. Дискретная модель приемника речевых сообщений	176
Кабацкая В.В., Тутык В.А., Рожков А.Д. Моделирование процесса роста покрытия при микродуговом оксидировании напыленных	185

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.777:669.014.84:001.8.083.133

Ващенко С.В., Маймур Б.М., Муравйова І. Г., Петренко В.І. **Розробка аналітичного методу прогнозування та оцінки опору шихт стиску з врахуванням їх властивостей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.3 - 10.

Приведена структура розробленого аналітичного методу визначення опору шихти стиску. Метод дозволяє без проведення дослідів по пресуванню матеріалу встановити, з достатньою для практичного використання точністю, функціональний зв'язок тиску пресування та коефіцієнта ущільнення шихти, знаючи її насипну та пікнометричну густину.

Бібл. 1, рис. 7, табл. 1.

УДК 537.527.541.8+004.94

Сергєєва О.В., Півоваров О.А., Фролова Л.А., Дубовик Т.М. **Модельовання процесу плазмохімічної обробки газ-рідина** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.11 - 17.

Розглядається математична модель процесу плазмохімічної обробки рідини в системі газ-рідина. При складанні цієї моделі враховувалося, що процес контактної дії на рідину включає поєднання багатьох чинників, основними з яких є - УФ-излучение, хімічні перетворення на поверхні розділу фаз газ - рідина, викликані масопереносом заряджених часток із зони розряду, електрохімічні процеси, що протікають в шарі рідини. Відповідність даних отриманих розрахунковим шляхом, з даними, отриманими експериментально, вказує на достовірність запропонованого механізму хімічних реакцій і допустимості запропонованих спрощень.

Бібл. 19.

УДК 519.217

Степанкова Г. А., Баклан І. В. **Приховані марковські моделі: класифікація** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.18 - 27.

Розглядається загальна класифікація ймовірнісних моделей, де вказується місце марковських моделей. Запропонована детальна класифікації прихованих марковських моделей та їх гібридів.

Бібл. 14, іл. 1.

УДК 669.162.21:669.13:669.162.275.2:51.001.57

Тогобицька Д.М., Гринько А.Ю., Белькова А.І. **Мінімізація впливу зашумленості вхідної інформації про доменний процес на опис термодинамічного узгодження розплавів в горні доменної печі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.28 - 36.

Робота присвячена питанню мінімізації впливу зашумленості вхідної інформації про доменний процес на точність математичних моделей, що описують процес виплавки чавуну. На базі методу Тихонова і сукупності ітераційних методів розроблено алгоритм мінімізації відхилів матеріального балансу, що дозволяє отримати матричну систему зба-

лансованих даних про параметри доменного процесу. Показана ефективність застосування даного алгоритму щодо реальних виробничих даних з метою збільшення точності математичних моделей.

Бібл. 6, іл. 6.

УДК 629-78

Храмов Д.А. **Особенности чисельного моделирования динамики экспериментальной тросовой системы с использованием программных средств на основе мови Python** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.37 - 47.

Проведено порівняльний аналіз використання пакетів Python(x,y) і MATLAB для дослідження динаміки експериментальної тросової системи. Показано, що в рамках розглянутої задачі обидва пакети є порівнянні за зручності роботи й можливостям для програмування. Зазначено перспективи використання вільного програмного забезпечення, заснованого на Python, для реалізації різних підходів до моделювання динамічних систем.

Бібл. 28.

УДК 004.9

Чала Л.Е., Чижевський А.В., Шевякова Ю.Ю. **Метод формування запитів в системах пошуку мультимовної інформації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.48 – 55.

У статті розглянуто підхід до побудови систем автоматизованого пошуку мультимовної інформації, особливістю якого є можливість суттєвого зменшення неоднозначності термінів на основі застосування кількісних показників подібності текстів. У практичних додатках даний підхід може бути ефективно використаний в задачах формування дайджестів і тезаурусів.

Бібл. 2, іл. 2.

УДК 681.5.09

Алексеев М.О., Сироткіна О.І. **Диагностика і відмовостійкість програмного забезпечення промислових SCADA систем відповідального призначення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.56 – 63.

У статті розглядаються методи підвищення надійності та відмовостійкості програмного забезпечення промислових SCADA систем на прикладі виконання в автоматичному режимі діагностики, резервування і відновлення бази даних у складі серверного вузла промислової SCADA системи, де одним з важливих елементів системного програмного забезпечення сервера є система управління базою даних. Математична модель роботи підсистеми самодіагностики і авторезервування сервера баз даних в складі сервера промислової SCADA системи представлена графом станів. Діагностика роботи сервера SCADA системи і автоматичне резервування бази даних проводиться з урахуванням поточної продуктивності сервера баз даних на основі моніторингу його характеристик для ресурсоемких запитів.

Бібл. 8, іл. 5, табл. 1.

УДК 519.86:338

Андрейшина Н. Б. **Визначення залежності рівноважної ціни від впливу зовнішніх факторів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.64 – 70.

В роботі будується математична модель, в якій попит і пропозиція розглядаються як функції, залежні від ціни товару та зміни її формування; отримане диференціальне рівняння рівноваги попиту та пропозиції, та проведений аналіз його стійкості в залежності від коефіцієнта, який характеризує вплив зовнішніх факторів.

Бібл. 5, іл. 2, табл. 1.

УДК 629.764.083.004.3:629.12

Дегтярев О.В. **Критичні навантаження, діючі на елементи конструкції літального апарата при сейсмовибуховому впливі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.71 – 80.

Викладена методика та програма розрахунку навантажень на елементи пружної конструкції літального апарата що містить в собі рідинне наповнення паливних баків при сейсмовибуховому впливі.

Бібл 5, іл. 2.

УДК 004.9:616.1

Дорош Н.Л., Храпач Ю.О. **Інформаційна система для аналізу ангиограм** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.81 – 85.

В роботі представлені алгоритм обробки цифрових зображень - ангиограм судин головного мозку, та результати розробки інформаційної системи для візуалізації та досліджень патології ділянок судин. Головною метою використання розробленої інформаційної системи є поліпшення зображень і визначення розмірів ураженої ділянки судини.

Бібл. 5, іл. 4.

УДК 519.7

Каменєва І.В., Русакова Н.Є. **Застосування методу розшарування предикату в морфології російської мови** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.86 – 94.

У статті розглядається задача автоматизації побудови реляційної мережі за допомогою методу розшарування кінцевого предиката, на прикладі конкретної морфологічної задачі моделювання процесу відмінювання повних неprisвійних прикметників, представлених у звуковій формі.

Бібл. 5, іл. 3, табл. 5.

УДК 621.316.79

Карпович О.Я., Онищенко О.А. **Оцінка властивостей однопоршневого герметичного компресора в режимах регулювання його холодопродуктивності** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.95 – 102.

В роботі представлені оцінки змінюваних у функції кута повороту вала приводного електродвигуна моменту опору і моменту інерції однопоршневого герметичного компресора малої холодильної установки. Аналітичні вирази засновані на аналізі функціонування кривошипно-шатунного механізму нагнітаючого тракту герметичних компресорів малих холодильних установок. Показано, що при зниженні холодопродуктивності однопоршневих компресорів необхідно забезпечувати необхідний діапазон її зміни шляхом створення спеціалізованих систем автоматизованого управління на основі регульованих по частоті обертання вала компресорів електроприводів.

Бібл. 9, іл. 3.

УДК 004.942

Купін А.І., Іщенко М.О., Музика І.О. **Програмне забезпечення підтримки рішень для керування буровибуховими роботами** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.103 – 109.

Розглянуто питання програмної реалізації системи комп'ютерної підтримки рішень для керування буровибуховими роботами в кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату. Запропоновано підхід до інтеграції розробленої системи в інформаційну структуру підприємства.

Бібл. 5, іл. 3, табл. 1.

УДК 681.3

Новікова К.Ю., Михальов О.І. **Дослідження алгоритмів нечіткої кластеризації в задачах аналізу металографічних зображень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.110 – 119.

Робота присвячена дослідженню алгоритмів нечіткої кластеризації в задачах аналізу металографічних зображень. Для дослідження в роботі було реалізовано два алгоритми нечіткої кластеризації: с-середніх та субтрактивний метод нечіткої кластеризації для зразків мікроструктур металографічних зображень (x100, x500).

Рис. 7, Бібл.3

УДК 656.212.5:681.3

Пахомова В.М., Скабалланович Т.І., Алексеев К.О. **Можливість використання безпроводних локальних мереж в інформаційних системах залізничного транспорту** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.120 – 127.

Розглянута класифікація безпроводних мереж по радіусу дії. WLAN базуються на стандарті IEEE 802.11, визначені його основні параметри. Виконано зіставлення технологій Wi-Fi і Bluetooth. Розроблена формальна модель процесу доступу до середовища в режимі розподіленої функції координації DCF

Бібл. 6, іл. 4, табл. 1.

УДК 519.876: 681.518

Рудакова Г.В., Сарафаннікова Н.В. **Використання фрактальних властивостей великих розподілених систем для вирішення задач оперативного управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.128 – 135.

У статті аналізується можливість застосування фрактальних властивостей великих розподілених систем для уніфікації моделей на різних рівнях ієрархічної системи управління. Пропонується використовувати безперервні моделі у вигляді поверхні запасу ресурсу, на основі якої можна оцінювати стан системи. Розглянуті метод визначення часу, відведеного на стабілізацію ситуації в системі, і можливі заходи при управлінні системою в критичному режимі.

Бібл. 7, іл. 2.

УДК 004.896

Селіванова А. В., Селіванов А. П., Мазурок Т. Л. **Нейро-нечітке моделювання управління холодильною установкою для комп'ютерного тренажера** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.136 – 141.

В роботі показана необхідність створення моделі управління холодильною установкою при розробці комп'ютерного тренажера. Досліджена створена пробна гібридна модель управління одноступінчастою аміачною холодильною установкою, показана доцільність використання нейро-нечіткого моделювання при управлінні холодильною установкою, описані перспективи дослідження.

Бібл. 5, іл. 4

УДК 621.316.79 : 681.269.96

Слесарев В.В. **Застосування тензометричних датчиків в системі прийняття рішень керування сортопрокатним виробництвом** / В.В. Слесарев, Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.142 – 150.

В статті проаналізовано можливий вплив на якісний показник виробництва можливих помилок вимірювання на кожному етапі технологічного циклу. Обґрунтована необхідність впровадження системи автоматичного керування розливкою в складі загальної СППР керування сортопрокатним виробництвом.

Бібл. 6, іл. 1, табл. 2.

УДК 519.6

Дерев'янюк О.І., Ватченко О.М. **Ідентифікації параметрів одновимірних відображень у перетині Пуанкаре** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.151 – 154.

Досліджено алгоритм чисельної ідентифікації динамічних систем, що знаходяться в хаотичному режимі. Доведено, що використання запропонованого алгоритму дає можливість отримання параметрів одновимірного відображення фазового потоку нелінійних систем.

Бібл. 2, рис. 4.

УДК 530.1

Журба А.О., Михальов О.І., Губенко С.І., Черноіваненко Є.А. **Аналіз змін фрактальної розмірності та її розподілення в процесі формування композитної структури швидкорізальної сталі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.155 – 164.

В статті розглядається поверхня шліфа швидкорізальної сталі та зміна її фрактальної розмірності у процесі формування композитної структури. Були побудовані емпіричні розподілення локальних фрактальних розмірностей поверхонь сталі ті їх фрактальні сигнатури.

Бібл. 6, іл. 4.

УДК 004.415.28

Булана Т.М., Воронюк Е.В. **Разработка нейроинформационной технологии для анализа данных мониторинга** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.165 – 175.

У рамках цієї роботи: була розроблена й реалізована бібліотека для роботи з нейронними мережами - Java Neural Network Modeling Framework, був досліджений та реалізований алгоритм класифікації - Каскадна кореляції, була розроблена й реалізована програма із графічним користувацьким інтерфейсом, який дозволяє навчати нейронну мережу, спостерігати й оцінювати процес навчання, і зберігання мережі на жорсткому диску для подальшого використання.

Бібл. 6, іл. 5.

УДК 681.142.2

Журавльов В.М., Жуковичкий І.В. **Дискретна модель приймача мовних повідомлень** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.176 – 184.

Розглянута задача, суттю якої є розкриття та аналіз імпульсного психофізіологічного інформаційного керування мовним процесом, що дозволяє підвищити достовірність моделі мовного джерела повідомлення.

Бібл. 15.

УДК 621.793

Кабацька В.В., Тутик В.А., Рожков О.Д. **Моделирование процесса роста покрытия при микродуговом окислении напыленных покрытий** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (81). - Днепропетровск, 2012. - с.185 – 191.

На основі теоретичних уявлень і результатів досліджень запропоновано модель, що описує можливий механізм росту окисдної плівки на алюмінії. Її використання дозволило отримати функціональні покриття на Al, що характеризуються високими корозійною стійкістю, адгезійною міцністю, зносостійкістю, а також низьким коефіцієнтом тертя.

Бібл. 7, іл. 3.

UDC 621.777:669.014.84:001.8.083.133

Vaschenko S.V., Majmur B.N., Muravieva I.G., Petrenko V.I. **Development of an analytical method for predicting and evaluating the resistance to compression batches according to their properties** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.3 - 10.

The structure of the developed analytical method for determining the resistance to compression of the charge. The method allows for experimentation without pressing the material to determine with sufficient accuracy for practical use, the functional relationship of pressing pressure and the compaction factor of the charge, knowing its bulk and pycnometric density.

Bibl. 1, fig. 7, tabl. 1

UDC 537.527.541.8+004.94

Sergeyeva O.V., Pivovarov A.A., Frolova L.A., Dubovik T.N. **Modeling of plasma chemical processing of gas-liquid interface** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.11 - 17.

A mathematical model of low-temperature plasma processing of liquid. In drafting the model took into account that the process of contact action on the fluid includes a combination of many factors, chief among which are - UV radiation, chemical reactions at the interface gas - liquid mass transfer caused by charged particles from the discharge zone, the electrochemical processes occurring in a liquid layer. Compliance with data obtained by calculations with the data obtained experimentally, indicating the reliability of the proposed mechanism of chemical reactions and the acceptability of the proposed simplifications.

Bibl. 19.

UDK 519.217

Stepankova G.A., Baklan I.V. **Hidden Markov Models: Classification** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.18 - 27.

A general classification of probabilistic models, which specifies the location of Markov models. Propose a detailed classification of hidden Markov models and their hybrids.

Bibl. 14, ill. 1.

UDK 669.162.21:669.13:669.162.275.2:51.001.57

Togobitskaya D.N., Grinko A.Yu., Belkova A.I. **Minimizing the impact of noise of the input information about the blast furnace process to the description of the thermodynamic process of harmonization of melts in the furnace of blast furnace** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.28 - 36.

The work is devoted to minimize the impact of noise of the input information about the blast furnace process on the accuracy of mathematical models describing the process of smelting the cast iron. On the basis of the method of Tikhonov and combined iterative methods have developed an algorithm to minimize the deviations of the material balance, which allows to obtain a matrix system of balanced information about the parameters of the blast furnace process. The efficiency of this algorithm to real production data in order to increase the accuracy of mathematical models.

Bibl. 6, pict. 6.

UDK 629-78

Khramov D. A. **Features of numerical simulation of experimental tether system dynamics with use of software based on Python** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.37 - 47.

The comparative analysis of Python(x,y) and MATLAB usage to study the dynamics of the experimental tethered system was carried out. It is shown that within the problem framework both packages are comparable in terms of usability and programming features. Indicated the prospects of free Python-based software for the various approaches to modeling of dynamic systems.

Bibl. 28.

UDC 004.9

Chala L.E., Chizhevsky A.V., Shevyakova Y.Y. **A method of forming queries in multilingual information retrieval system** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.48 - 55.

This article describes an approach to building systems of automated search for multilingual information, which feature is the ability to significantly reduce the ambiguity of terms used quantitative indicators of the texts similarity. In practical applications, this approach can be effectively used in problems of forming digests and thesauri.

Bibl.2, ill.2

UDC 681.5.09

Alekseev M.A., Sirotkina E.I. **Diagnostics and Fault-tolerance Software for Industrial SCADA of Mission Critical Applications** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.56 - 63.

The techniques to improve software reliability and fault tolerance for industrial SCADA on the example of automatic diagnostics, backup and recovery of the database server node in the industrial SCADA system, where one of the system software important elements is a server of database management system, were discussed in the article. The mathematical model of self-diagnosis and auto-recovery database at the industrial SCADA server node was represented by a graph of states. Diagnostics of SCADA server and automatic backup of database were carried out taking into account the current performance of database server based on the monitoring of its performance for resource-intensive queries.

Bibl. 8, fig. 5, tabl. 1.

UDC 519.86:338

Andreishina N. B. **Determination of the equilibrium price depends on the influence of external factors** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.64 - 70.

The mathematical model in which supply and demand are dealt with functions which depend on price and tendencies of its formation has been built. The differential equation of balance of supplying demand has been received the analysis of its stability depending on coefficient which characterizes the influence of external factors has been carried out.

Bibl. 5, ill.2. table 1.

UDC 629.764.083.004.3:629.12

Degtyarev A.V. **Critical loads affecting structural components of a spacecraft during shot explosion** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.71 - 80.

A procedure and program are described for calculation of loads affecting components of elastic structure of the spacecraft, containing liquids in propellant tanks, during shot explosion.

Bibl. 5

UDC 004.9:616.1

Dorosh N.L., Hrapach J.A. **Information system for the analysis of angiograms** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.81 - 85.

The paper presents the algorithm for digital image processing - cerebral angiograms and results of development of an information system for imaging and studies of pathology sections of blood vessels. The main purpose of the developed information system is to improve the image and determining the size of the damaged vascular sites.

Bibl. 5

UDC 519.7

Kamenieva I., Rusakova N. **The separation predicate method application for morphology of Russian language** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.86 - 94.

The paper considers an avtomatation constructing of relational network using the separation finite predicate method, for example specific morphological problem – modeling an ajectives presented in sound form.

Bibl.5, fig.3, tab.5.

UDC 621.316.79

Karpovich O.Y., Onishchenko O.A. **Evaluation of properties a single-hermetic compressor in the cooling mode of regulation of its** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.95 - 102.

The paper presents estimates varying as a function of the angle rotation the shaft of the drive motor moment of inertia and resistance to a single-hermetic compressor for the small refrigeration unit. Analytical expressions are based on an analysis of the functioning of a crank mechanism the discharge path hermetic compressors small refrigeration systems. It is shown that with a decrease in a single-compressor cooling is necessary to provide the required range of its variations rough the creation of specialized computer-aided management on the basis of adjustable speed drives compressor shaft.

Bibl. 9, il. 3.

UDC 004.942

Kupin A.I., Ischenko M.O., Muzyka I.O. **The decision support software for control drilling and blasting operations** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.103 - 109.

Questions of program implementation of computer decision support system for control drilling and blasting operations in career of ore dressing combine are considered. The ap-

proach to integration of the developed system into an enterprise information structure is offered.

Bibl. 5, pic. 3, tabl. 1.

UDC 681.3

Novikova K.U., Myhalov A.I. **Research fuzzy clustering algorithms in problems analysis of metallographic images** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.110 - 119.

The work is devoted to the study of algorithms fuzzy clustering analysis in problems of metallographic images. The survey was implemented in the two fuzzy clustering algorithms: c-means and fuzzy clustering method subtractive samples for metallographic microstructures images (x100, x500).

Pic. 7, Bibl.3.

UDC 656.212.5:681.3

Pakhomova V. N., Skaballanovich T. I., Alekseev K.A. **Possibility of the use of Wireless LAN is in the informative systems of railway transport** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.120 - 127.

The classification of Wireless Area Networks on radius of action is considered. WLAN are based on the standard IEEE 802.11, his basic parameters are determined. The comparison of technologies Wi-Fi and Bluetooth is executed. The formal model of process of access by environment in a mode of the distributed function of coordination DCF is developed

Bibl. 6, fig. 4, tabl. 1.

UDC 519.876: 681.518

Rudakova A.V., Sarafannikova N.V. **Using of fractal properties of the large distributed systems for the decision of operative management tasks** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.128 - 135.

In the article possibility of application of fractal properties of the large distributed systems is analysed for standardization of models on the different levels of the hierarchical control system. It is suggested to utilize continuous models as a resource supply surface, on the basis of which it is possible to estimate the state of the system. Considered method of time determination, taken on stabilizing of situation in the system, and possible measures at a management the system in the critical mode.

Bibl. 7, ill. 2.

UDC 004.896

Selivanova A., Selivanov A., Mazurok T. **Neuro-fuzzy modeling of control by the refrigerating machinery for a computer training simulator** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.136 - 141.

In work necessity of creation of model of management is shown by the refrigerating machinery by working out of a computer training apparatus. The created trial hybrid model of control is investigated by the one-stage ammoniac refrigerating machinery, the expediency of use of neuro-fuzzy modeling is shown at control of the refrigerating machinery, research prospects are described.

Lit. 5, pic. 4

UDC 621.316.79 : 681.269.96

Slesarev V. **Applying of strain gauge transducers in decision making system for section rolling production control** / V V Slesarev, T A Zheldak, D M Garanzha // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.142 - 150.

This article analyzes the possible impact of potential errors of measurement at each stage of production cycle on the quality indicator. The necessity of introducing a system of automatic control of the pouring in the general decision making system of steel rolling production is substantiated.

Bibl. 6, fig. 1, Table. 2.

UDC 519.6

Derevyanko A.I., Vatchenko E.N. **Identification of one-dimensional map in Poincare resection** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.151 - 154.

The algorithm of numeral authentication of the dynamic systems, being in the chaotic mode is investigational.

It is red that the use of the offered algorithm enables to define the parameters of one-dimensional reflection of phase stream of the nonlinear systems

Bibl. 2, ill. 4

UDC 530.1

Zhurba A.A., Mikhalev A.I., Gubenko S.I., Chernoiivanenko K.A. **Analysis of changes of fractal dimension and her distribution in the process of forming of composite structure of high-speed steel** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.155 - 164.

In the article a surface of microsection of high-speed steel is examined became change of her fractal dimension in the process of forming of composite structure. Empiric distributions of local fractal dimensions of surfaces were built their fractal signatures became.

Bibl. 6.

UDC 004.654: 004.852

Bulanaya T.M., Voronyuk E.V. **Development neuroinformatsonnoy technology to analyze the data monitorin** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.165 - 175.

In the context of this work: was designed and implemented library for working with neural networks - Java Neural Modeling Framework; was investigated and implemented strong algorithm for classification – Cascade Correlation; was designed and implemented program with graphical user interface which allows to learn neural network using algorithm of Cascade Correlation, observe and evaluate learning process, and storing networks on hard drive for future use.

Bibl. 6, ill. 5.

UDC 681.142.2

Zhuravlev V. Zhukovicky I. **Synergic process of speech signal energy transmission** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.176 - 184.

We consider the problem, the essence of which lies in the detection and analysis of the psycho-physiological impulse control speech processes, allowing to increase the reliability of the model voice message source

Bibl. 15.

UDK 621.793

Kabatskaya V.V., Tytuk V.A., Rozhkov A.D. **Modeling of growth in the microarc oxidation coating sprayed coatings** // System technologies. N 4(81) - Dnipropetrovsk, 2012.- P.185 - 191.

On the basis of theoretical concepts and research findings, a model describing the possible growth mechanism of oxide film on aluminum. Its use allowed us to obtain functional coatings on Al are characterized by high corrosion resistance, adhesive strength, wear resistance and low coefficient of friction.

Bibl. 7, il. 3.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Ващенко Сергей Владимирович - младший научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Маймур Борис Микитович - к.т.н., старший научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Муравьева Ирина Геннадьевна - д.т.н., старший научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Петренко Валентина Ивановна - научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Сергеева Ольга Вячеславовна – доцент, к.т.н., доцент кафедры Специализированных компьютерных систем, УГХТУ

Пивоваров Александр Андреевич – профессор, д.т.н., заведующий кафедрой Технологии неорганических веществ и экологии, УГХТУ.

Фролова Лилия Анатольевна – доцент, к.т.н., доцент кафедры Технологии неорганических веществ и экологии, УГХТУ.

Дубовик Татьяна Николаевна – ассистент кафедры Специализированных компьютерных систем, УГХТУ.

Степанкова Ганна Анатоліївна – магістр, старший викладач кафедри інтелектуальних систем Національної Академії Управління, м. Київ.

Баклан Ігор Всеволодович – к.т.н., доцент, зав. кафедрою інтелектуальних систем Національної Академії Управління, м. Київ.

Тогобицкая Дарья Николаевна - доктор технических наук, старший научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Гринько Анастасия Юрьевна - кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Белькова Алла Ивановна - кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт черной металлургии НАН Украины.

Храмов Дмитрий Александрович - старший научный сотрудник, кандидат технических наук Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины.

Чалая Лариса Эрнестовна – к.т.н., старший научный сотрудник, доцент каф. искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Чижевский Антон Валерьевич – магистрант каф. искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Шевякова Юлия Юрьевна – магистрантка каф. искусственного интеллекта Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Алексеев Михайло Олександрович - завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Державний ВНЗ “Національний гірничий університет”.

Сироткіна Олена Ігорівна - аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Державний ВНЗ "Національний гірничий університет".

Андрейшина Наталія Борисівна – старший викладач кафедри «Економічна кібернетика», Обласний комунальний вищий навчальний заклад «Інститут підприємництва «Стратегія», м. Жовті Води.

Дегтярев Александр Викторович – кандидат экономических наук, Генеральный конструктор – Генеральный директор ГП КБ «Южное».

Дорош Наталія Леонідівна - доцент, НметАУ, кафедра інформаційних технологій і систем.

Храпач Юлія Олександрівна - доцент, Академія Митної служби України, кафедра вищої математики та інформатики.

Каменева Ирина Витальевна - аспирант кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Русакова Наталья Евгеньевна - младший научный сотрудник кафедры программной инженерии Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Карпович Олег Яковлевич - ассистент, Одесская государственная академия холода.

Онищенко Олег Анатольевич - профессор, Одесская государственная академия холода.

Купін Андрій Іванович - доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж, Криворізький національний університет.

Іщенко Микола Олександрович – к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Криворізький національний університет.

Музика Іван Олегович - аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж, Криворізький національний університет.

Новікова Катерина Юріївна – к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Михальов Олександр Ілліч - д.т.н., професор кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Пахомова Вікторія Миколаївна - к.т.н., доцент кафедри ЕОМ, докторант, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Скабалланович Тетяна Іванівна - старший викладач кафедри ЕОМ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна.

Алексеев Константин Олексійович - студент спеціальності «Комп'ютерні системи та мережі», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Рудакова Анна Владимировна - доцент, к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики, Херсонського національного технічного університета.

Сарафанникова Наталья Викторовна - к.т.н., доцент кафедри технической кибернетики, Херсонского национального технического университета.

Селіванова Алла Віталіївна - аспірантка, старший викладач кафедри інформаційних технологій, Одеська державна академія холоду.

Селіванов Артем Павлович - викладач комісії холодильно-компресорних машин і установок, Одеський технічний коледж Одеської державної академії харчових технологій.

Мазурок Тетяна Леонідівна - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, Одеська державна академія холоду.

Слесарев Володимир Вікторович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного аналізу і управління, Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”.

Желдак Тімур Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри системного аналізу і управління, Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”.

Гаранжа Дмитро Миколайович – асистент кафедри системного аналізу і управління, Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”.

Деревянко Александр Иванович - кандидат технических наук, доцент кафедры АСОИ Днепропетровского национального университета.

Ватченко Елена Николаевна - ассистент кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета.

Журба Анна Алексеевна – ассистент кафедры информационных технологий и систем, НМетАУ.

Губенко Светлана Ивановна – д.т.н., профессор кафедры материаловедения, НМетАУ.

Черноиваненко Е.А. - аспирант, НМетАУ.

Булана Тетяна Михайлівна – асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ ДНУ ім. О. Гончара.

Воронюк Евгений Викторович – студент кафедри математического обеспечения ЭВМ Днепропетровского государственного университета.

Журавлев Владимир Николаевич - к.т.н., доц. каф. Автоматизации и компьютерных систем Днепропетровского горного университета,

Жуковицкий Игорь Владимирович - зав. каф. электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, д.т.н., профессор.

Кабацкая Валерия Владимировна - аспирант кафедры покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины.

Тутык Валерий Анатольевич - профессор кафедры физики, Национальная металлургическая академия Украины.

Рожков Александр Дмитриевич - доцент кафедры покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины.