

В.С. Хандецкий, В.В. Мищенко, В.В. Герасимов

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ШУМА, ВОЗНИКАЮЩЕГО ПРИ СКАНИРОВАНИИ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

Аннотация. С помощью разработанного программного обеспечения проведено моделирование рельефа поверхности монослоя жгутов волокон в случаях, когда диаметры жгутов изменяются по гауссовскому и равномерному законам. Определены зависимости характера шума от параметров модели. Полученные результаты используются при бесконтактных измерениях электрофизических свойств и дефектоскопии композитных материалов.

Ключевые слова: композитный материал, жгуты волокон, рельеф поверхности, шум, корреляционные функции, закон распределения.

Вступление. Особенностью изготовления деталей и конструкций из композитных материалов является то, что конструкция и материал формируются одновременно, в едином технологическом процессе изготовления конструкции. Волокнистые композитные материалы, такие как стеклопластики, углепластики, органоуглепластики, часто используют в качестве армирующих жгуты волокон, диаметр которых меняется в диапазоне от нескольких десятых долей до миллиметра. Поверхность деталей и конструкций из композитных материалов обычно не подвергают механической обработке, так как это разрушает армирующие жгуты поверхностного слоя. Такая поверхность характеризуется сложным, в значительной мере стохастическим рельефом поверхности. Жгуты волокон в поперечном сечении не всегда сохраняют форму круга, их диаметр меняется как вследствие различных механических напряжений, возникающих при намотке или прессовке детали или конструкции, так и вследствие наличия градиентов температуры в объеме и на поверхности композита в процессе изготовления.

При измерении электрических свойств композитов, которые затем чаще всего используются для определения коррелирующих с ними механических и теплофизических характеристик материала, а также при дефектоскопии и толщинометрии деталей и конструкций в

промышленности используют неразрушающие методы контроля. При этом располагают датчики, например вихретоковые или электроемкостные, на определенном расстоянии от внешней поверхности конструкции и осуществляют сканирование этой поверхности с определенным, как правило, малым шагом. Из-за наличия сложного рельефа поверхности композита расстояние между сканируемой поверхностью и плоскостью, в которой перемещается датчик, на каждом шаге изменяется. Это и является основным измерительным шумом, который накладывается на динамически изменяющийся сигнал датчика в процессе сканирования.

Первичным параметром шума является расстояние между рельефом поверхности композита и плоскостью сканирования. Для разработки методов коррекции влияния рельефа поверхности композита на сигналы измерительных датчиков необходимо определить характер шума и закон его распределения, корреляционные и спектральные свойства. Это является целью данной статьи.

Основная часть. Моделирование поверхности композита проводилось на примере монослоя жгутов волокон. Предполагалось, что армирующие жгуты имеют круглое сечение и расположены вплотную друг к другу. Принято также, что длина жгутов намного превышает зону контроля датчика. Это позволило использовать моделирование в двумерной плоскости.

Пример такого монослоя, состоящего из жгутов одинакового диаметра, показан на рис.1. Для создания такой поверхности использована формула:

$$y = \sqrt{\frac{D^2}{4} - \left[R(x) - \frac{D}{2} \right]^2}, \quad (1)$$

где D – диаметр волокон, $R(x)$ – остаток от деления координаты x на диаметр жгута.

Программа моделирования рельефа поверхности написана на языке C# с использованием платформы .Net в среде Visual Studio 2008. Программа позволяет изменять диаметр волокон D , общее количество волокон M , высоту расположения плоскости сканирования L , шаг сканирования Δ . Все геометрические параметры измеряются в относительных единицах.

В качестве опорной поверхности, на которой расположен монослой жгутов волокон, может быть внешняя поверхность какой-либо

конструкции либо подповерхностный слой, жгуты которого располагаются под определенным углом к жгутам внешнего слоя часто перпендикулярно.

Пространство между опорной поверхностью и исследуемым монослоем заполнено связующим материалом, который образует матрицу композита.

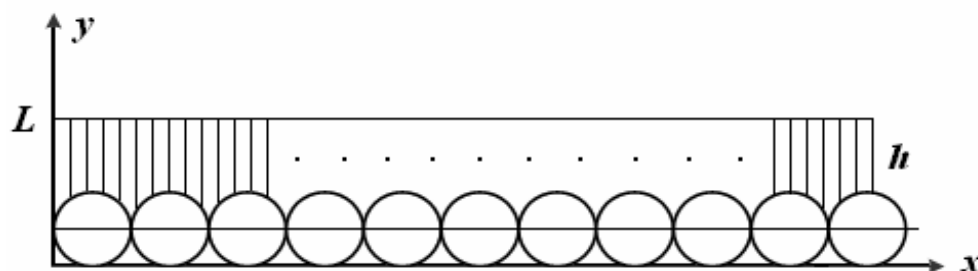


Рисунок 1- Монослой из жгутов волокон одинакового диаметра D , расположенный на расстоянии L от опорной поверхности

Информационным параметром в модели на рис.1 является расстояние между рельефом поверхности монослоя и плоскостью сканирования h .

Рассмотрим более подробно сечение одного жгута, показанное на рис.2.

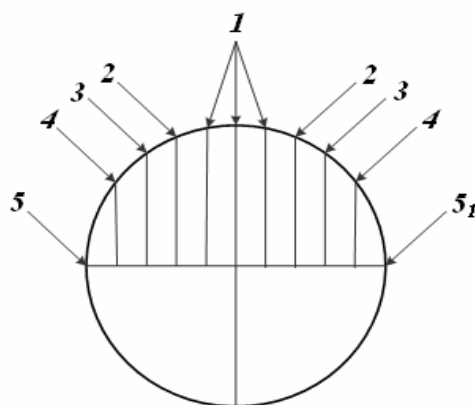


Рисунок 2 - Сечение жгута волокон диаметром $D=30$ при использовании шага сканирования $\Delta=3$

Построим гистограмму распределения величины h для монослоя, представленного на рис.1 при значении диаметра жгута $D=30$ и использовании шага сканирования $\Delta=3$. Эта гистограмма показана на рис.3.

Для объяснения характера этой гистограммы обратимся к рис.2. Точки, обозначенные цифрой 1 на этом рисунке, расположены при-

близительно на одном уровне. Величина h для этих трех точек находится в пределах одного разряда гистограммы. Следующие три столбца гистограммы соответствуют парам точек, обозначенных цифрами 2, 3 и 4. Соответственно высота этих трех столбцов одинакова и составляет $2/3$ от высоты первого столбца. Последний столбец гистограммы соответствует максимальному значению h и точке 5 на рис.2. Точка 51, при этом, относится в следующему жгуту. Таким образом, высота этого столбца составляет треть от высоты первого столбца.

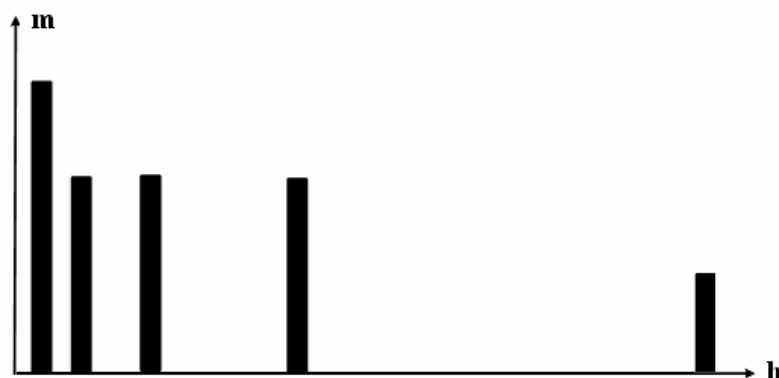


Рисунок 3 – Гистограмма распределения расстояния h для $D=30$ и $\Delta=3$

В рассмотренной здесь модели диаметр является кратным шагу сканирования, однако исследования показали, что при изменении шага сканирования Δ и диаметра жгутов волокон D основные черты гистограммы, показанной на рис.2, сохраняются.

Для создания поверхности со случайными значениями диаметра жгутов волокон используется следующая последовательность действий:

- получаем массив случайно измененных диаметров жгутов,
- вычисляем сумму диаметров всех предыдущих волокон S ,
- используем формулу (1) для координаты $x' = x - S$.

Расчет гистограмм начинается с определения количества разрядов. Объем выборки N известен и является длиной массива входных данных. Количество разрядов K определяется автоматически по формуле, полученной при аппроксимации полиномом 3 степени таблицы 4.3 из [3]

$$K = 10,953 + 0,026 * N - 9,015 * 10^{-6} * N^2 + 1,385 * 10^{-9} * N^3. \quad (2)$$

Общая программа моделирования состоит из трех частей: главная часть создает поверхность монослоя и снимает данные, вторая часть которая вычисляет гистограмму и критерий согласия χ^2 ,

третья часть вычисляет автокорреляционную функцию. Для каждой части реализована форма, содержащая интерфейс, из которого считываются входные данные и в который выводятся результаты расчетов и изображения графиков. В форме реализованы ввод-вывод данных и их проверка, но не содержатся основные алгоритмы расчетов. Для основных алгоритмов расчетов созданы отдельные классы. Каждый класс реализует несколько методов расчетов, которые имеют различное назначение: выполняют расчет и создают изображение; не выполняют расчет, а только создают изображение; выполняют расчет без создания изображения.

Пример монослоя, состоящего из жгутов со случайным значением диаметра, показан на рис.4. Шаг сканирования по сравнению с рис.1 здесь значительно уменьшен. Показано, что пространство между опорной поверхностью и исследуемым монослоем заполнено связующим материалом, который в процессе технологического нагрева полимеризуется и образует матрицу композита.

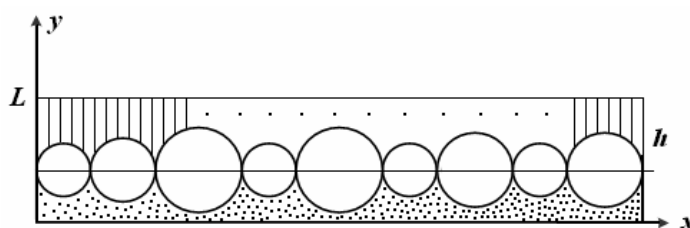


Рисунок 4 - Монослой жгутов волокон случайного диаметра

Численный эксперимент выполняли при количестве жгутов $M=100$. Шаг сканирования Δ изменялся от 1 до 20. Величина $L=80$. Изменение диаметра жгута D задавалось в диапазоне от 0 до 150%, при этом начальное значение $D=30$. Результаты вычисления критерия согласия χ^2 при разных значениях шага сканирования приведены в табл. 1.

Каждое значение $\chi^2_{h,average}$ получено усреднением результатов 100 экспериментов. Здесь же приведены значения граничных величин $\chi^2_{h,\alpha}$ при уровнях значимости $\alpha=0,05$ и $\alpha=0,005$. Изменение диаметра жгута осуществлялось как с использованием гауссовского, так и равномерного законов распределения. Область принятия гипотезы о соответствии выборки значений h гауссовскому закону распределения принимается в случае

$$\chi^2_{h,average} \leq \chi^2_{h,\alpha}. \quad (3)$$

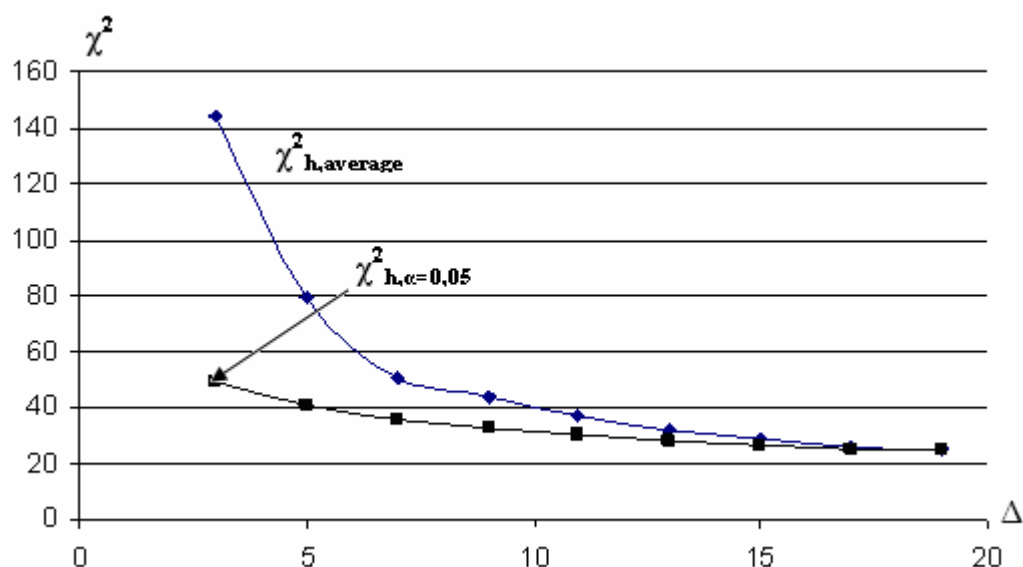
Усредненные значения критерия согласия χ^2 при изменении диаметра жгута волокон по гауссовскому и равномерному закону

Гауссовский закон				Равномерный закон			
Величина шага Δ	$\chi^2_{h,ave}$ rage	$\chi^2_{h,\alpha=0,05}$	$\chi^2_{h,\alpha=0,005}$	Величина шага Δ	$\chi^2_{h,ave}$ rage	$\chi^2_{h,\alpha=0,05}$	$\chi^2_{h,\alpha=0,005}$
3	144,44	48,69	59,70	3	199,47	48,77	59,78
5	79,57	40,58	50,22	5	124,02	40,70	50,10
7	50,93	35,33	44,38	7	79,22	35,54	44,59
9	43,58	32,54	41,23	9	61,34	32,30	40,99
11	37,26	30,12	38,56	11	51,06	29,89	38,33
13	31,82	27,60	35,73	13	41,26	27,73	35,86
15	29,04	26,29	34,26	15	36,71	26,34	34,31
17	25,37	24,98	32,78	17	34,48	25,09	32,89
19	24,89	24,97	32,77	19	31,79	24,72	32,52

На рис.5 графически показаны зависимости $\chi^2_{h,average}$ и $\chi^2_{h,\alpha=0,05}$ от величины шага сканирования. Видно, что при увеличении шага характер выборки значений h приближается к гауссовскому. При этом, если для изменения диаметра жгута D используется гауссовский закон, то выборку можно считать гауссовской уже при шаге $\Delta=11$ для $\alpha=0,005$ и при шаге $\Delta=19$ для $\alpha=0,05$.

Если для изменения диаметра жгута D используется равномерный закон, то выборку можно считать гауссовской лишь только при шаге $\Delta=19$ для $\alpha=0,005$ и при шаге $\Delta=27$ для $\alpha=0,05$.

Экспериментальные исследования проводили с использованием установки, которая позволяла перемещать измерительный зонд с помощью микрометрических винтов в горизонтальном и вертикальном направлениях. Измерения проводились на образцах углерод-углеродных композиционных материалов [4]. Получено, что при шаге сканирования $\Delta=0,25$ мм в большинстве случаев выборка значений h соответствует гауссовскому закону распределения. Это соответствие улучшается при шагах сканирования $\Delta=0,5$ мм и $\Delta=1,0$ мм.

Рисунок 5 - Зависимости χ^2 от величины шага сканирования Δ

При выборе величины шага сканирования важным параметром является степень корреляции соседних отсчетов. В табл. 2 и 3 приведены значения автокорреляционных функций для разных шагов сканирования. Как следует из табл.3 при изменении диаметра жгута волокон по гауссовскому закону коэффициент корреляции между соседними отсчетами уже при $\Delta=9$ приближается к 0,5. Это означает, что связь между соседними отсчетами очень слабая.

Таблица 2

Усредненные значения автокорреляционной функции $R_h(\tau)$ при изменении диаметра жгута волокон по гауссовскому закону

Шаг Δ	Величина τ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	1,000	0,917	0,815	0,700	0,581	0,462	0,348	0,241	0,145	0,059
3	1,000	0,890	0,727	0,547	0,370	0,209	0,073			
4	1,000	0,812	0,576	0,342	0,137					
5	1,000	0,784	0,488	0,213	0,003					
6	1,000	0,700	0,351	0,065						
7	1,000	0,644	0,256	0,045						
8	1,000	0,576	0,140							
9	1,000	0,543	0,070							
18	1,000	0,044								

При изменении диаметра жгута по равномерному закону (табл.3) связь между соседними отсчетами при $\Delta=9$ существенно больше и ею пренебрегать нельзя. Связь становится слабой лишь при значении Δ , приближающемся к 18.

Таблица 3

Усредненные значения автокорреляционной функции $R_h(\tau)$ при изменении диаметра жгута волокон по равномерному закону

Шаг Δ	Величина τ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	1,000	0,958	0,907	0,848	0,786	0,723	0,660	0,598	0,539	0,483
3	1,000	0,943	0,860	0,768	0,673	0,580	0,493	0,413	0,341	0,276
4	1,000	0,906	0,785	0,658	0,537	0,427	0,331	0,249	0,176	0,110
5	1,000	0,888	0,733	0,577	0,436	0,317	0,217	0,130	0,063	
6	1,000	0,845	0,654	0,457	0,323	0,201	0,096			
7	1,000	0,827	0,607	0,408	0,249	0,119				
8	1,000	0,782	0,532	0,325	0,167	0,046				
9	1,000	0,765	0,490	0,274	0,111					
18	1,000	0,480	0,114							

Учитывая связь, существующую между корреляционными и спектральными свойствами случайных процессов, можно сделать вывод, что если диаметры жгутов волокон изменяются по гауссовскому закону, то уже при шаге сканирования, составляющем не менее трети диаметра жгута, измерительный шум является практически “белым”, т.е. его спектральная плотность постоянна.

Выводы. С помощью разработанного программного обеспечения проведено моделирование рельефа поверхности монослоя жгутов волокон в случаях, когда диаметры жгутов изменяются по гауссовскому и по равномерному законам.

Получено, что в первом случае расстояние h от плоскости сканирования до поверхности монослоя изменяется по гауссовскому закону уже при шаге $\Delta=19$ для уровня значимости $\alpha=0,005$ и при шаге $\Delta=27$ для $\alpha=0,05$ (исходное значение диаметра жгута $D=30$, изменение D задано в пределах до 150%). Исследование автокорреляционных функций показало, что в этом случае коэффициент корреляции между соседними отсчетами уже при $\Delta=9$ приближается к 0,5. Это означает, что связь между соседними отсчетами практически очень слабая и в качестве модели метрического измерительного шума, воз-

никающего при сканировании, может быть использован “белый” шум, спектральная плотность которого постоянна.

ЛИТЕРАТУРА

- 1.Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Статистические исследования при вихретоковой дефектоскопии композитных материалов // Дефектоскопия.- 1998.- №9.- С. 59-70.
- 2.Хандецкий В.С., Герасимов В.В. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний // Вісник Дніпропетровського університету. Фізика і радіоелектроніка. - Вип.10.-2003.- С.128-132.
- 3.Нейман Л., Пирсон А. Измерение и анализ случайных процессов.- М.: ИЛ, 1971.- 432 с.
- 4.Справочник по композиционным материалам. Под. ред. Дж. Любина. Книга 1.- М.: Машиностроение, 2001, - 643 с.

Получено 15.01.2011г.

И.В. Гомилко, А.В. Дегтярев, Ю.А. Тонкошкур
**ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И ПЕРЕДАЧИ
ДАННЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ
ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ДЕПОЛЯРИЗАЦИОННОГО
АНАЛИЗА**

Аннотация. Представлены результаты разработки цифровой системы для автоматизированного контроля свойств материалов методом изотермического деполяризационного анализа. Система позволяет получать, преобразовать к цифровому виду и передавать к процессорному устройству большие массивы данных, что в существенной мере повышает эффективность контроля.

Ключевые слова: цифровая система, компьютер, передача данных, порты ввода-вывода, деполяризационный анализ, программное обеспечение.

Введение. Метод изотермического деполяризационного анализа (ИТДА), широко известный в исследованиях полимеров и других диэлектриков [1, 2], в настоящее время он начинает использоваться при исследованиях и контроле свойств структур электронной техники [3, 4], строительных материалов [5, 7], диагностики химических объектов и технических устройств [7, 8].

Повышение эффективности ИТДА на современном этапе тесно связано с разработкой информационно-измерительных технологий, позволяющих получать, преобразовать к цифровому виду и передавать к процессорному устройству больших массивов данных.

Постановка задачи. В настоящее время поставлена задача разработки конкретного варианта цифровой автоматической системы измерений и передачи данных ИТДА в компьютер.

Основная часть. Последовательность ИТДА включает в себя подачу на образец прямоугольного импульса поляризующего напряжения определенной длительности, отключения его от источника питания и подключение к электрометру, который регистрирует кинетику изменения деполяризационного (разрядного) тока образца.

Блок-схема измерительной установки, основанной на этом методе, приведена на рис. 1. Как видно из рисунка считывание инфор-

мации и управление блоком коммутации осуществляется от LPT портов персонального компьютера.

Цифровые электрометр и вольтметр выполняют функцию преобразования аналоговых сигналов в цифровые. Вольтметр *В* считывает информацию с термопары, расположенной вблизи измеряемого образца, внутри криостата и передает ее на вход 1-ого LPT порта. Управление блоком коммутации *БК*, служащим для переключения между стабилизированным источником питания (импульс поляризации) и электрометром *Э*, контролирующим ток разряда (до 10^{-12} А), происходит с этого же порта. В схеме используются источник поляризующего напряжения (ИПН).

Электрометр подсоединен к 2-ому порту LPT через согласующее устройство *СУ*. Электрометр и вольтметр работают только на выдачу информации в компьютер.

Наличие нагревательной спирали и соответствующего источника питания *ИПН* обеспечивает возможность проводить измерения при разных температурах. Для исключения различных, нежелательных поверхностных эффектов, все измерительные циклы проходят в вакуумном криостате.

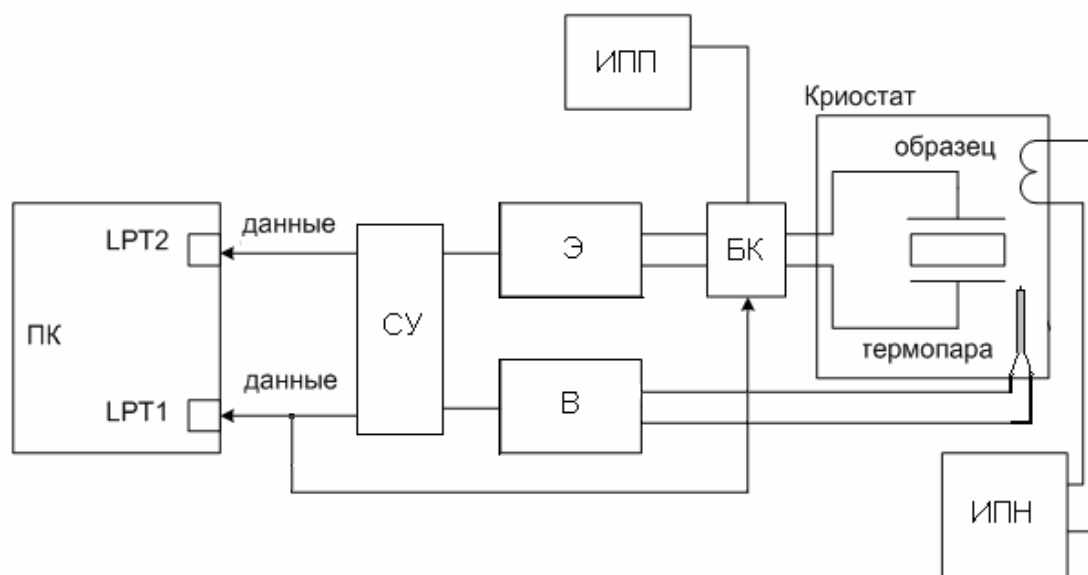


Рисунок 1 - Блок-схема автоматизированной системы

Простейшая схема блока коммутации представлена на рис. 2. Как видно из рисунка реле *P1* используется для смены режимов поляризации и деполяризации образца. Реле *P2* используется для подготовки образца к измерению (выравнивание потенциалов). Реле *P3* служит для отключения образца от измерительной установки.

Принципиальная схема согласующего устройства при использовании в качестве электрометра и вольтметра промышленных цифровых приборов В7-30

1. Ф-30 представлена на рис. 3.

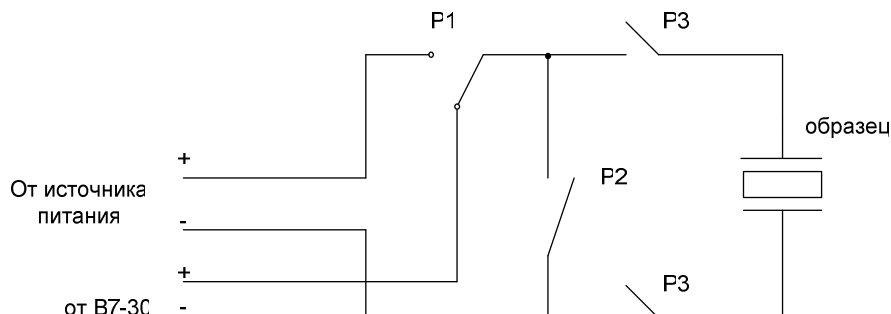


Рисунок 2 - Схема блока управления измерениями

2. Микросхемы D1-D8 предназначены для приема значений силы тока, которые поступают с электрометрического вольтметра В7-30. Принцип работы заключается в том, что при поступлении сигнала LOAD2 с порта компьютера LPT2 все восемь микросхем запоминают значения сигналов, которые характеризуют ток, текущий через образец. Каждая микросхема D1-D8 представляет собой последовательный 4-х битный регистр сдвига. Восемь микросхем D1-D8 соединенные последовательно образуют собой 32-х битный регистр сдвига. Сдвиг осуществляется при поступлении сигнала SHIFT2, а выбор режима записи/сдвига при помощи сигнала MODE2. Ввод данных в компьютер осуществляется через выход QD микросхемы D8 (DATA2).

Микросхемы D9-D12 предназначены для приема значений температуры в криостате, которая преобразуется вольтметром Ф-30. Принцип работы аналогичен рассмотренному выше преобразованию сигнала поступающего с электрометрического вольтметра В7-30. Отличие заключается в том, что необходимо преобразовывать 16, а не 32 бита и преобразование осуществляется при помощи порта компьютера LPT1. Кроме того при помощи LPT1 происходит управление четырьмя реле, которые управляют блоком управления системы (рис. 3). Управление происходит при помощи микросхемы D13 ULN2803.

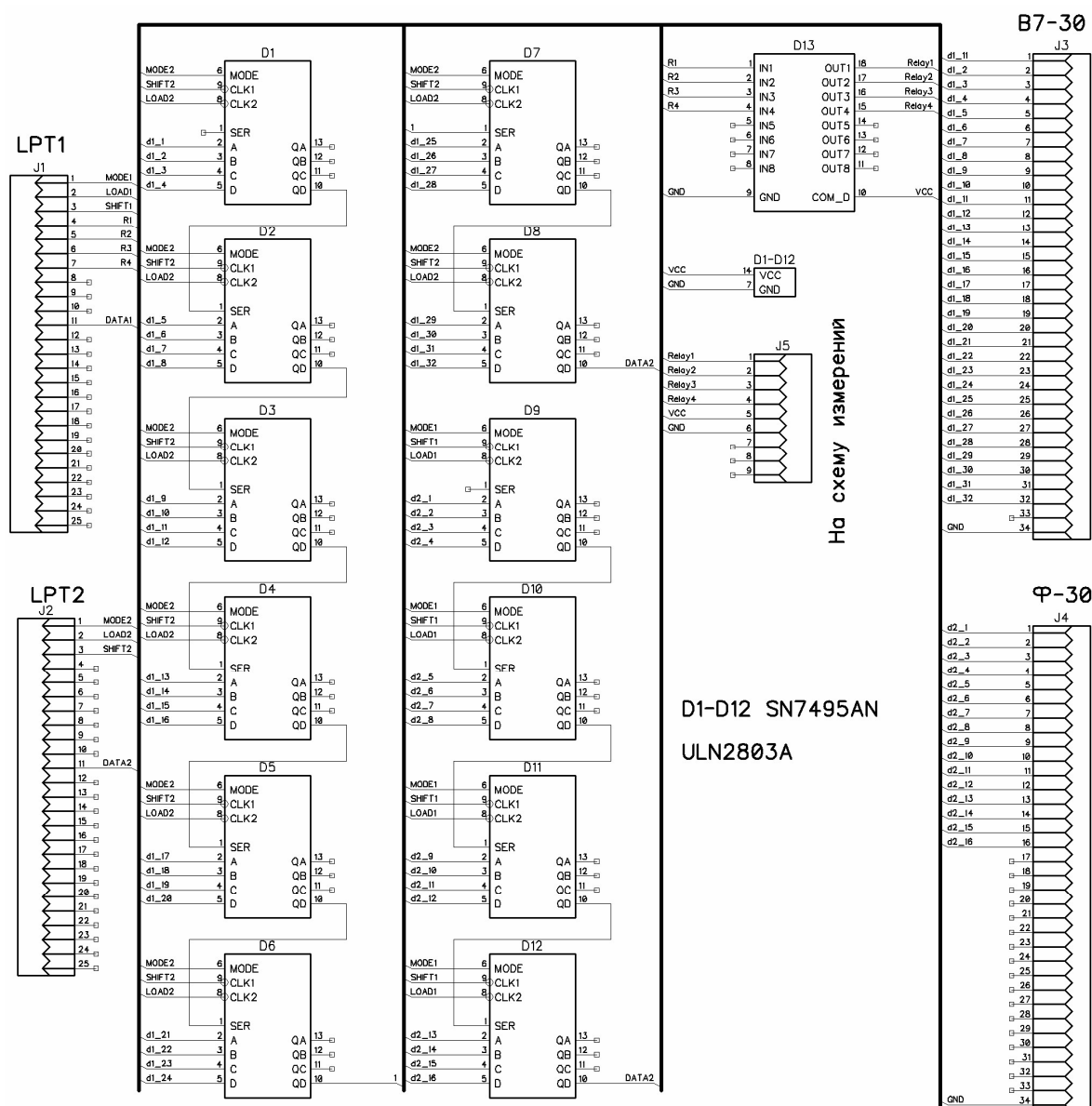


Рисунок 3 - Электрическая принципиальная схема
согласующего устройства

Программное обеспечение обработки полученных результатов было написано Turbo Pascal. Структура программы представляет набор поочередно вызывающихся подпрограмм.

Первый блок подпрограмм представляют подпрограммы работы с портами ввода-вывода. Для считывания с порта и записи информации в порт используется подпрограмма ReadWriteLPT. В зависимости от выбранного режима в теле основной программы информация может быть считана с нужного порта и одновременно записана в него, что позволяет получить больший объем данных на начальном участке кривой деполяризации. Полученная информация электрометром в

удобочитаемом виде сохраняется в текстовый файл, который впоследствии может быть открыт при помощи Microsoft Excel и обработан.

Так же программа позволяет изменять периодичность записи информации в файл, что в зависимости от преследуемой цели позволит получить максимально возможное количество точек.

Выводы. Использование персонального компьютера позволяет производить измерения в течении длительного периода времени, что в свою очередь позволяет изучить диэлектрический спектр материала в низкочастотном диапазоне, что может быть затруднено при использовании других методов. В устройстве предусмотрена функция закорачивания образца самого на себя, что позволяет получить более достоверные результаты.

В заключение следует отметить, что описанная цифровая система измерения и передачи данных может быть практически без аппаратных переделок использована и для термодеполяризационного анализа [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Fedosov S.N., Revenyuk T.A., Sergeeva A. E. Isothermal charging and discharging currents in doped polystyrene//Photoelectronics–2006.–V.15–P.15-21.
2. Osak W.and Tkacz-miech K. Isothermal depolarization currents in triglycine sulphate// Applied Physics A: Materials Science & Processing – 1997. - Volume 65, Numbers 4-5. - 439-444
3. Тонкошкур А.С., Гомилко И.В., Ляшков А.Ю. Особенности изотермической деполяризации в оксидно-цинковой варисторной керамике // Неорганические материалы. - 1998. - Т. 34, №9. - С. 1123-1127.
4. Tsonos C., Kanapitsas A., Neagu E., Stavrakas I., Anastasiades C., Triantis D., Pissis P. Dielectric response of ZnO-based varistor // 6th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems. - Rome, Italy. – 2009. List of Abstracts. – P. 175.
5. Stavrakas, D. Triantis and C. Anastasiadis The influence of externally applied uniaxial stress on Isothermal Depolarization Current mechanisms in rock samples//Journal of Materials Science.–2005.–V.,N.17.–P.4593- 4596.
6. Tsonos C., Stavrakas I., Anastasiadis C, Kyriazopoulos A., Kanapitsas A. and Triantis D. Probing the microstructure of cement mortars through dielectric parameters' variation // J. Phys. and Chem. of Solids. – 2009. - V. 70, Issues 3-4. – P. 576-583.
7. Шаламов И. В., Ухарцева И. Ю., Цветкова Е. А., Гольдаде В. А. Исследование электрофизических свойств жидкодисперсных систем методом изотермической деполяризации /Материаловедение.-2003.–№3-С. 28-31.
8. Чернов В. А. Разработка и исследование методов диагностики маслона- полного энергетического оборудования на основе измерения токов поляризации. Автореф. канд. дис. Москва: ГОУВПО «Московский энергетический институт (технический университет)», 2009. – 19 с.
9. Гомілко І.В. Поляризаційні явища в оксидній варисторній кераміці. Автореф. канд. дис. Дніпропетровськ: ДНУ, 2001. – 16 с.

О.В. Сопільник, А.Л. Мартинова

**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОТІКАННЯ У
ФТОРГРАФІТОВОМУ КОМПОЗИТІ**

Анотація. Створений програмний продукт, за допомогою якого проведено імітаційне моделювання процесу протікання у фторграфітовому композиті з урахуванням особливостей його структури. Результат роботи - програмна модель, що імітує процес електропровідності та визначає значення порогу протікання при його наявності.

Ключові слова: моделювання, композит, фторграфіт, поріг протікання, генератор випадкових чисел, MATLAB, матриця, масив.

Вступ. Великий інтерес при розробці високоенергетичних хімічних джерел струму викликає фторграфіт та його з'єднання типу C_xF , які можуть застосовуватись у якості катодів з теоретичною енергоемністю $0,864 \text{ А} \cdot \text{год.}$ і одночасно задовольняють структурним і кінетичним вимогам: мають шарувату структуру, яка дозволяє з мінімальними кінетичними утрудненнями поглинати продукти відновлення і, крім того, вони не розчиняються в електролітах [1].

Найбільш перспективними тут вважають ковалентні з'єднання графіту, які синтезуються шляхом безпосереднього фторування при температурі $360 - 630^\circ\text{C}$ зі створенням нової фази – фази включення. Внаслідок цього графітовий гексагональний шар втрачає свою індивідуальність: кут С-С-С стає менше 120° , набуває складчасту форму; фтор також розширює відстань між шарами, яка збільшується з $3,34\text{Е}$ до $5,85\text{Е}$, що в цілому суттєво зменшує електропровідність і C_xF стає ізолятором [2]. Ці обставини суттєво впливають на якість катодного матеріалу, параметри джерел живлення і потребують детального вивчення, в тому числі шляхом імітаційного моделювання кристалічної решітки графіту в процесі фторування.

Постанова задачі. Вуглець має декілька алотропних модифікацій, серед яких графіт найбільш стабільний. Варіанти структур низькотемпературного моно-фториду діграфіту пропонувалися й аналізувалися з 1983р.[1]. Передбачувана будова осаждення моношару C_2F наведена на рис. 1, з якого видно, що в цій структурі ряди атомів

вуглецю, пов'язані з фтором, чергуються з рядами атомів вуглецю, що не мають з ним зв'язків, причому половина атомів фтору розташована над sp^2 -площиною, а половина - під нею. Ці моделі будови C_2F виявилися досить популярними і були прийняті більшістю фахівців, не дивлячись на незвичність концепції полуіонного зв'язку. Саме на основі цих моделей і концепцій пропонувалися й уточнювалися різні варіанти будови низько- фторованих фторидів графіту C_4F , C_6F [1].

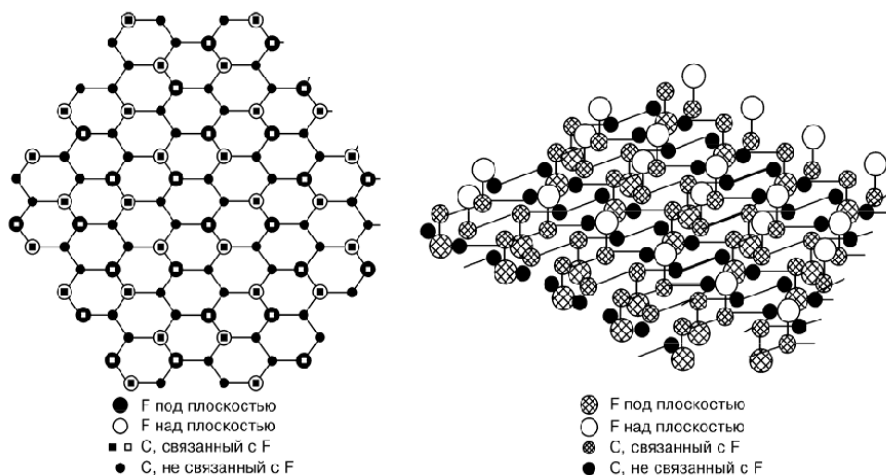


Рисунок 1- Структури шарів C_2F

Тому метою роботи є розробка програми та проведення імітаційного експерименту для встановлення наявності порогу протікання струму в двовірній гексагональній решітці фторграфіту при зміні концентрації фтору в композиті.

Для цього необхідно:

- застосувати генератор випадкових чисел для дослідження зв'язку між зміною структури і електричними параметрами композиту;
- обрати програмні засоби для рішення поставленої задачі;
- створити алгоритм імітаційного моделювання із заданою структурою решітки (шестикутна або «медові стільники»);
- проаналізувати результати моделювання.

Рішення задачі. У якості головного програмного засобу дослідження була обрана інтерактивна система MATLAB, основний об'єкт якої - прямокутний числовий масив (матриця). Теоретичним підґрунтям для рішення проблеми є теорія протікання[3], яка ще не стала строгою математичною дисципліною внаслідок складності питань, що вирішуються і потребує застосування імітаційних методів для встановлення тих чи інших закономірностей. Процес

імітаційного моделювання одношарової структури фторграфітового композиту з гексагональною решіткою показаний на рис. 2.

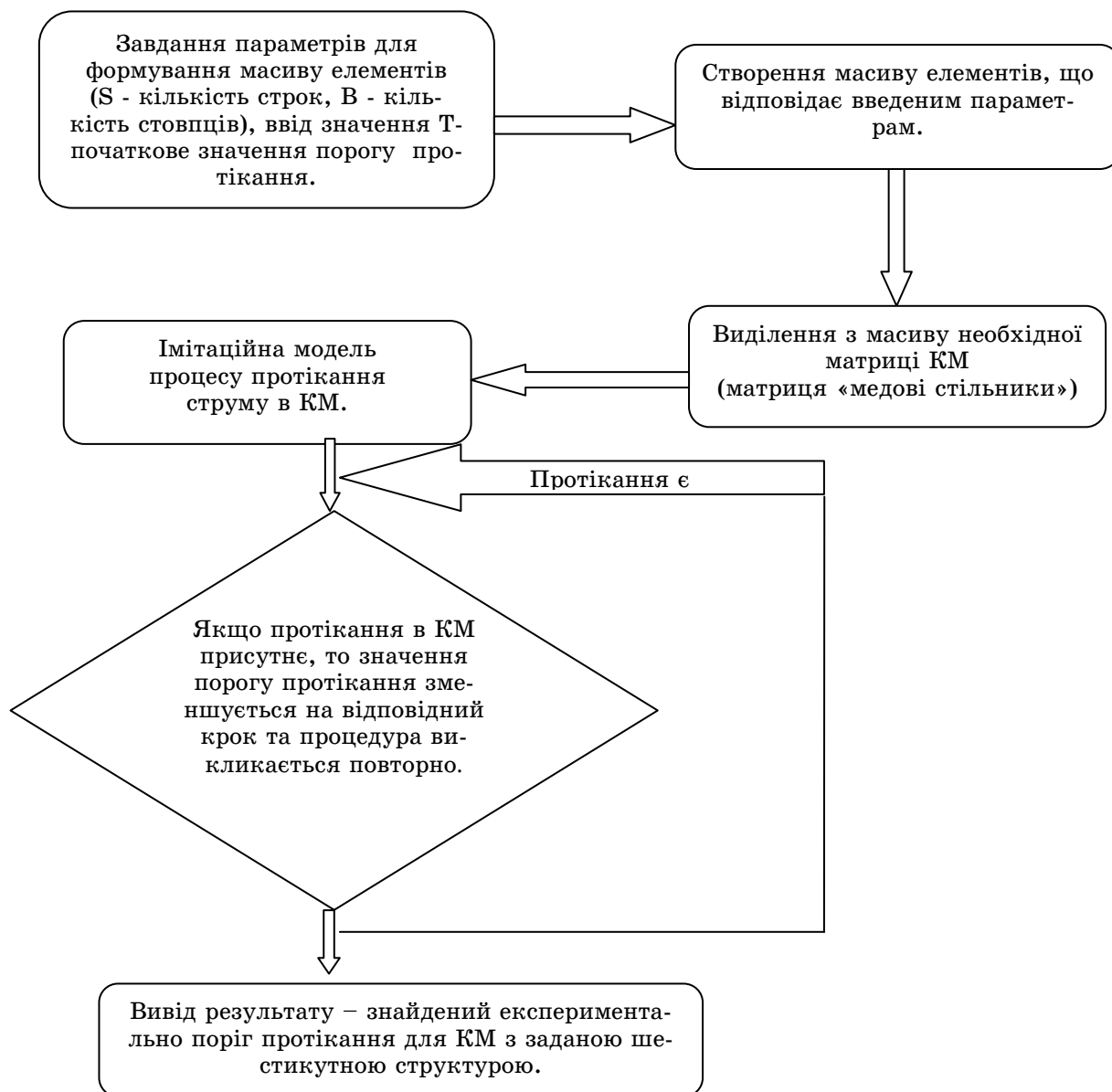


Рисунок 2 - Функціональна схема програми експерименту

Першим кроком алгоритму є завдання параметрів для формування масиву елементів. Ці змінні оголошуються глобальними змінними та є видимими як головній програмі, так і функціям, що викликаються. Значення цих параметрів задаються на початку експерименту один раз. На цьому кроці відбувається визначення початкового значення порогу протікання T , який надалі буде змінюватися та передаватися в функції у якості вхідного аргументу (T_n) [4].

На другому кроці відбувається створення масиву елементів, що відповідає введеним параметрам.

Третім кроком алгоритму є створення з масиву потрібної матриці. Для цього елементам, які не повинні брати участь в експерименті, присвоюють значення, відмінні від тих, що надаються робочим блокуванням і неблокуванням вузлам.

Четвертим кроком є моделювання процесу протікання струму в композиті. Для створеної матриці викликається функція, що імітує процес протікання та визначає його наявність. Якщо протікання відбулося (значення: $prot. > 0$), то функція, що імітує процес перколяції знову викликається і обчислює поріг вже для нової матриці. Процес продовжується доки фіксується протікання.

При розробці імітаційної моделі композиту виділимо такі основні пункти:

- створення матриці композиційного матеріалу; її обчислення (імітація процесу перколяції); визначення порогу протікання.

В системі MATLAB є різні інструменти для створення масивів. Однак всі вони створюють масиви прямокутної форми. За умовою експерименту композит складається з пов'язаних один з одним гексагонів. Це означає, що певні елементи повинні бути виключені зі створеної матриці (рис. 3).

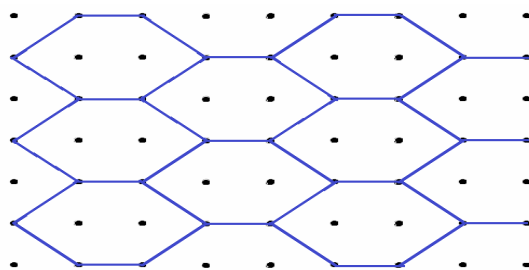


Рисунок 3 - Створення матриці «медові стільники»
з прямокутної

У програмній реалізації діелектричні елементи (атоми F) позначимо через «0», провідники (атоми C) - «1», елементи, що вилучаються - «5».

Матриця формується за допомогою генератора псевдовипадкових чисел, наприклад:

5.0000	0.3740	0.8648	5.0000	5.0000	0.2503	0.0295	5.0000
5.0000	0.9994						
0.6051	5.0000	5.0000	0.2442	0.4382	5.0000	5.0000	0.7351
0.5580	5.0000						
5.0000	0.6035	0.1810	5.0000	5.0000	0.8088	0.8191	5.0000
5.0000	0.4872						

0.7551	5.0000	5.0000	0.4044	0.7257	5.0000	5.0000	0.1540
0.5091	5.0000						
5.0000	0.1526	0.0627	5.0000	5.0000	0.3371	0.4459	5.0000
5.0000	0.7576						
0.1305	5.0000	5.0000	0.9015	0.2203	5.0000	5.0000	0.3786
0.4228	5.0000						
5.0000	0.1770	0.8823	5.0000	5.0000	0.5513	0.3215	5.0000
5.0000	0.8998						
0.5421	5.0000	5.0000	0.4629	0.8080	5.0000	5.0000	0.3608
0.9710	5.0000						
5.0000	0.7698	0.6801	5.0000	5.0000	0.2052	0.8346	5.0000
5.0000	0.8655						
0.0415	5.0000	5.0000	0.6142	0.2733	5.0000	5.0000	0.7467
0.4879	5.0000						

Тепер замінюємо обрані елементи на 0 чи 1 у відповідності до введеного порогу протікання. Для цього створюємо нову матрицю L, де кожному елементу присвоюємо значення або 1, при умові $M(i,j) \leq T$, або 0 – у протилежному випадку. Маємо

```

5 1 1 5 5 1 1 5 5 1
0 5 5 0 1 5 5 0 0 5
5 1 1 5 5 1 1 5 5 1
1 5 5 1 0 5 5 1 1 5
5 0 1 5 5 1 0 5 5 1
1 5 5 1 0 5 5 1 1 5
5 1 1 5 5 0 1 5 5 0
1 5 5 1 1 5 5 0 1 5
5 1 1 5 5 1 0 5 5 0
1 5 5 0 1 5 5 1 1 5

```

Пошук шляхів протікання у напрямі ліворуч-праворуч відбувається по методиці[3]. Насамперед всі одиниці, які знаходяться у лівому стовпці замінюються на двійки. На наступному кроці вивчається кожний вузол масиву. Якщо найближчий до будь-якого елементу лівого стовпця вузол є 1, йому присвоюється значення – 2. В ході цього процесу кількість двійок у масиві збільшується і з них формуються неперервні послідовності – шляхи протікання струму в матеріалі через неблоковані вузли. Для імітації цього процесу була розроблена функція Func_Prot_hexagon(), входними аргументом якої є первинна матриця L, кількість строк S та стовпців B масиву, а вихідним аргументом - масив L. Функція наочно ділить масив елементів на два - непарний та парний стовпці шестикутників, які чергуються. У циклі проходять всі елементи масиву та замінюються на двійки, відповідно з алгоритмом.

Наприклад, при $T = 0,8500$ L – матриця має вигляд

5	2	0	5	5	1	0	5	5	1
2	5	5	1	1	5	5	1	1	5
5	2	0	5	5	1	1	5	5	1
2	5	5	0	1	5	5	1	1	5
5	2	0	5	5	1	1	5	5	2
2	5	5	0	1	5	5	2	2	5
5	2	2	5	5	2	2	5	5	2
2	5	5	2	2	5	5	2	2	5
5	2	2	5	5	0	0	5	5	2
2	5	5	2	2	5	5	1	1	5

Протікання струму є (у правому стовпці матриці є двійки). Зменшуємо значення порогу на відповідний крок ($h = 0,06$). Далі викликається функція, що формує масив відповідно нового порогу. Використовуючи існуючу функцію `Func_Prot_hexagon()` знову визначаємо наявність струму. Якщо він є, то процес повторюється доки при деякому T не виявиться, що протікання немає. При цьому значенні T обчислюється кількість неблокованих вузлів, яка близька до T , але не обов'язково йому дорівнює. Це значення і вважається порогом протікання.

Для набору статистики обрана модель розмірністю 50×50 . Обсяг експериментів - 200. В результаті отримані осереднені дані, які відображують залежність електропровідності від концентрації складових в композиті. У результаті визначено, що поріг протікання для композиційного матеріалу з двомірною решіткою типу «медові стільники» дорівнює $T = 0,71$ при абсолютній похибці 1,43%.

Це значення показує, при якій концентрації фтору в композиті не залишиться жодного шляху протікання току і він перетворюється у діелектрик.

Висновки

1. Для реалізації імітаційного моделювання двовірної структури фторграфітового композиту розроблене програмне забезпечення в інтерактивній системі MATLAB.

2. Розроблена двовірна модель дозволила зімітувати і дослідити реальний фізичний процес електропровідності у фторграфітовому композиті, визначити поріг протікання.

3. Отримані в результаті модельних досліджень дані підтвердили відомі теоретично наближені. Експериментальний поріг протікання дорівнює $T=0,7$, похибка при цьому склала 1,43%. Ці результати можуть скласти основу для подальшого дослідження властивостей фторграфітових композитів у тривимірному вигляді.

ЛІТЕРАТУРА

1. Митькин В.Н. Обзор типов неорганических полимерных фторуглеродных материалов и проблем взаимосвязи их строения и свойств.- Журнал структурной химии, 2003, том 44, № 1,- с. 99 – 138.
2. Дядин Ю. А. Графит и его соединения. Соровский образовательный журнал, т.6, №10, 2000 с.43-49.
3. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. // М.- Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. - 176 с
4. Немухин А. В. Компьютерное моделирование в химии. 1998г., с. 48-52.
5. Смоленцев Н. К. MATLAB: программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA: Учебный курс (+CD).- М.: ДМК Пресс: СПб.: Питер, 2009. – 464 с.

Отримано 12.01.2011р.

А.И. Ивон, В.Ф. Истушкин, В.Р. Колбунов, И.М. Черненко
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ
КРИТИЧЕСКИХ ТЕРМОРЕЗИСТОРОВ**

Аннотация. Исследована кинетика переключения критических терморезисторов на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики в состояние с низким сопротивлением. Время задержки переключения стремится к бесконечности, когда приложенное к терморезистору напряжение U_T стремится к напряжению порогового переключения U_S и монотонно уменьшается с ростом напряжения при $U_T > U_S$. В рамках модели „критической температуры“ найдена связь между временем задержки переключения и напряжением. Результаты расчета адекватно описывают экспериментальные данные.

Ключевые слова: критический терморезистор; диоксиднованадиевая стеклокерамика; время задержки переключения.

Введение. Критические терморезисторы создаются на основе оксидных полупроводниковых материалов с фазовым переходом металл-полупроводник (ФПМП) [1,2]. Такие терморезисторы сочетают свойства обычных полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления и термического реле. При температуре фазового перехода металл-полупроводник T_t они скачком изменяют электрическое сопротивление на несколько порядков [1]. В частности, критические терморезисторы, реализованные на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики [3], переключаются в состояние с низким сопротивлением при температуре $T_t = 343$ К (сопротивление уменьшается в сто раз). В таком состоянии они способны пропускать электрический ток до десятка ампер. Такое поведение дает возможность использовать критические терморезисторы на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики для защиты центрального процессора компьютера от перегрева [4] и блока питания компьютера от тока включения [5]. Для указанных применений важен учет задержки переключения, которая возникает при разогреве критических терморезисторов электрическим током. Однако, такая задержка

для терморезисторов на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики практически не исследовалась.

Постановка задачи. Цель настоящей работы – экспериментальное исследование времени задержки переключения критических терморезисторов на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики.

Анализ полученных результатов в рамках модели „критической температуры”.

Методика исследования. Исследования выполнены на критических терморезисторах, изготовленных из керамики состава (вес. %) 55VO₂-25SnO₂-5Cu-15(ванадиево-фосфатное стекло). Рабочее тело терморезистора имеет форму диска с диаметром основания $D = 10$ мм и высотой $L = 2,2$ мм. В качестве электродного материала использовали индий галлиевую эвтектику. Электроды, созданные на основаниях рабочего тела терморезистора, имели площадь $S = 0,4$ см². В табл. 1 представлены типичные значения параметров терморезисторов.

Таблица 1

Параметры критических терморезисторов на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики

Сопротивление при температуре 298 К (R_Q), Ом	162
Сопротивление при температуре 373 К (R_{on}), Ом	0,58
Температура фазового перехода металл-полупроводник, T_t , К	343
Напряжение порогового переключения U_S , В	5,5
Ток порогового переключения I_S , мА	65
Энергия активации электропроводности ниже температуры T_t ΔE , эВ	0,11
Тепловая постоянная времени τ_T , с	30

Для исследования использовали схему, показанную на рис. 1. Резистор $R_{огр}$ с сопротивлением 20,6 Ом ограничивает ток критического терморезистора R_T после его переключения в состояние с низким сопротивлением. Ток через терморезистор находили по падению напряжения на прецизионном резисторе R_0 с сопротивлением $0,104 \pm 0,001$ Ом. Напряжения измеряли с относительной погрешностью $\pm 1\%$ цифровым мультиметром Hexagon 510. Временные зависимости падения напряжения на терморезисторе и резисторе R_0 реги-

стрировали мультиметром Hexagon 510 с шагом квантования по времени 0,05 с. В качестве источника постоянного напряжения ИН (рис. 1) использовали стабилизированный регулируемый источник напряжения ТЕС 14 НТР 30.5. Измерения выполняли при температуре 298 К после установления термодинамического равновесия терморезистора с окружающей средой.

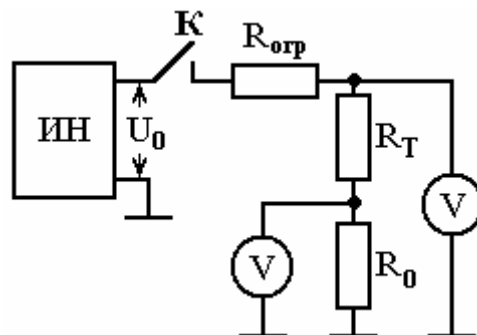


Рисунок 1 - Схема для исследования времени задержки переключения критических терморезисторов

Полученные результаты и их обоснование. Типичные временные зависимости падения напряжения U_T на терморезисторе и протекающего через него электрического тока I , зарегистрированные при подаче ступеньки напряжения $U_0 = 10$ В, показаны на рис. 2.

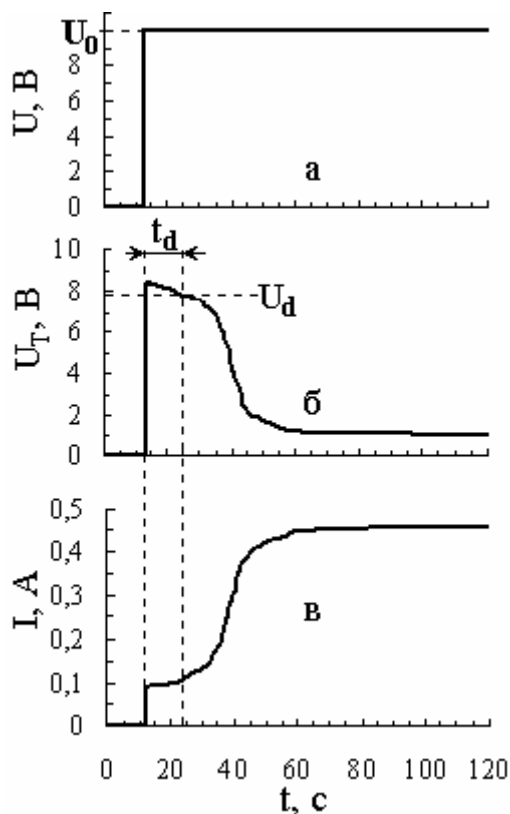


Рисунок 2- Кинетика напряжения (б) и тока через терморезистор (в) после подачи ступеньки напряжения $U_0 = 10$ В(а)

Как видно, после подачи постоянного напряжения U_0 , в начале, за счет разогрева терморезистора, ток медленно возрастает и напряжение падает. В этом интервале времени кристаллиты VO_2 стеклокерамики находятся в полупроводниковой фазе, и сопротивление стеклокерамики изменяется с температурой так же, как для полупроводниковых терморезисторов с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления. Через интервал времени t_d с начала процесса терморезистор нагревается до температуры ФППП $T_t \sim 343$ К и переключается в состояние с низким электрическим сопротивлением. Происходит резкое уменьшение падения напряжения на терморезисторе, сопровождающееся столь же резким увеличением электрического тока. В терморезисторе формируется шнур тока, в пределах которого кристаллиты VO_2 находятся в проводящей металлической фазе [6]. Через некоторое время диаметр шнур тока достигает равновесного значения, определяемого термодинамическим равновесием с окружающей средой. Поэтому падение напряжения U_T и ток I критического терморезистора перестают изменяться (рис. 2б, в).

Таким образом, для разогрева критического терморезистора электрическим током до температуры T_t , при которой происходит переключение в состояние с низким сопротивлением, требуется некоторое время t_d . Это время определяет задержку переключения критических терморезисторов и пороговых переключателей на основе материалов с фазовым переходом металл-полупроводник. Значение t_d можно найти по временным зависимостям напряжения и тока (рис. 2б, в), если учесть, что переключение начинается, когда сопротивление терморезистора достигает величины $R_S = U_S/I_S$, определяемой пороговыми значениями тока I_S и напряжения U_S (табл. 1). Значения I_S и U_S для исследуемых терморезисторов находили по пороговой точке вольтамперной характеристики, в которой температура рабочего тела терморезистора достигает значения T_t [6]. Для напряжения на терморезисторе $U_T = U_d$ (рис. 2б), с которого начинается пороговое переключение, с учетом схемы, показанной на рис. 1, пренебрегая малым сопротивлением R_0 , несложно получить следующее соотношение:

$$U_d = U_0 R_S / (R_S + R_{орп}), \quad (1)$$

которое в нормализованном виде можно записать как

$$U_d / U_0 = 1 / (1 + R_{орп} / R_S). \quad (2)$$

Соотношение (2) определяет уровень, позволяющий по временным зависимостям относительного падения напряжения на терморезисторе U_T/U_0 найти время задержки переключения критического терморезистора t_d при любом значении ступеньки напряжения U_0 . На рис. 3 показаны такие временные зависимости, зарегистрированные при разных значениях напряжения U_0 . Уровень, определяемый соотношением (2), показан на рис. 3 пунктирной линией. Он рассчитан для $R_{огр} = 20,6$ Ом и значения сопротивления R_S , которое в соответствии с параметрами U_S , I_S представленными в табл. 1 равно 84,6 Ом.

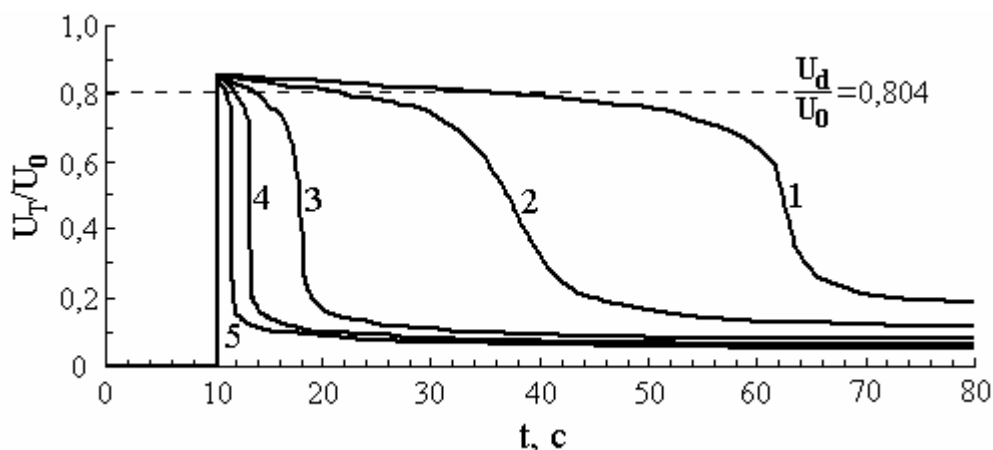


Рисунок 3 - Относительное падение напряжения на критическом терморезисторе на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики как функция времени при значениях U_0 , В:

1 – 8, 2 – 10, 3 – 15, 4 – 20, 5 – 25

На рис. 3 абсциссы точек пересечения пунктирной линии с кинетическими кривыми определяют значения времени задержки переключения критического терморезистора t_d при разных значениях напряжения U_0 .

Кинетика относительного падения напряжения U_T/U_0 для критических терморезисторов на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики была исследована при разных значениях напряжения U_0 для определения зависимости времени задержки переключения t_d от напряжения. Такая зависимость показана на рис. 4, где кружки соответствуют экспериментальным данным. На рис. 4 представлены относительные значения времени задержки переключения t_d/τ_T , где τ_T тепловая постоянная времени терморезистора τ_T (табл. 1).

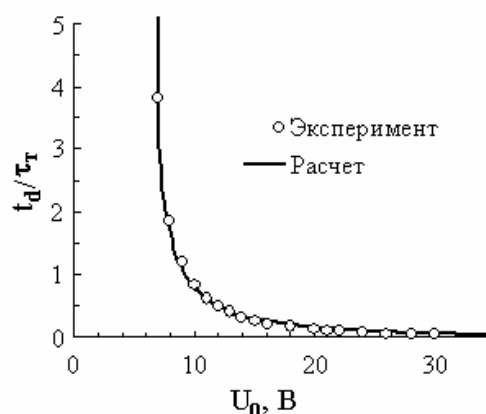


Рисунок 4 - Экспериментальные и расчетные зависимости нормированного времени задержки переключения критических терморезисторов на основе диоксидно-надиевой стеклокерамики от напряжения

Как видно, с ростом U_0 время задержки монотонно уменьшается. Когда падение напряжения на критическом терморезисторе приближается к пороговому напряжению $U_S \sim 5,5$ В, время задержки резко возрастает, стремясь к бесконечности. Это согласуется с тем, что при напряжениях меньших U_S критический терморезистор не может быть переключен в состояние с низким сопротивлением.

Для определения связи между временем задержки переключения t_d и напряжением U_0 воспользуемся моделью „критической температуры” [6]. Запишем уравнение теплового баланса критического терморезистора, включенного в цепь, представленную на рис. 1:

$$C_T \frac{dT}{dt} + k(T - Q) = \frac{U_0^2 R_T}{(R_{\text{огр}} + R_T)^2}, \quad (3)$$

где C_T , T , k — теплоемкость, температура и коэффициент теплового рассеивания терморезистора, соответственно; t — время; Q — температура окружающей среды.

Уравнение (3) не учитывает распределение температуры в терморезисторе и окружающей среде. Однако такое приближение достаточно хорошо оправдывается на практике при анализе электрических цепей с терморезисторами [7].

Ниже температуры ФПМП T_t зависимость сопротивления критического терморезистора от температуры описывается формулой:

$$R_T = R_{\infty} \exp\left(\frac{\Delta E}{k_B T}\right),$$

где ΔE – энергия активации электропроводности; R_∞ – сопротивление терморезистора при $T \rightarrow \infty$; k_B – постоянная Больцмана. Если R_Q – сопротивление терморезистора при температуре окружающей среды Q , а $\Delta T = T - Q$, то зависимость сопротивления терморезистора от температуры можно представить в виде:

$$R_T = R_Q \exp\left(-\frac{\Delta E \Delta T}{k_B Q(Q + \Delta T)}\right). \quad (4)$$

Входящий в уравнение (3) коэффициент теплового рассеивания k выразим через пороговое напряжение U_S и сопротивление R_S критического терморезистора, учитывая, что в пороговой точки вольтамперной характеристики баланс выделяемой и рассеиваемой мощности в статическом режиме определяется соотношением $k(T_t - Q) = U_S^2/R_S$. Из этого соотношения следует:

$$k = U_S^2/(R_S \Delta T_t), \quad (5)$$

где $\Delta T_t = (T_t - Q)$.

Время задержки переключения критического терморезистора t_d определяется временем необходимым для его разогрева от температуры окружающей среды Q до „критической”, при которой происходит переключение терморезистора в состояние с низким сопротивлением. Такой температурой является температура фазового перехода металл-полупроводник T_t . Поэтому, выполнив интегрирование (3) в интервале $0 \leq \Delta T \leq \Delta T_t$, с учетом соотношения (5) и $T = Q + \Delta T$, для относительной величины времени задержки переключения t_d/τ_T получим следующее выражение:

$$\frac{t_d}{\tau_T} = \int_0^{\Delta T_t} \frac{d\Delta T}{\left(\frac{U_0}{U_S}\right)^2 \frac{R_T R_S \Delta T_t}{(R_{огр} + R_T)^2} - \Delta T}, \quad (6)$$

где тепловая постоянная времени терморезистора равна $\tau_T = C_T/k$ [7].

Выражение (6) определяет связь между относительным временем задержки переключения критических терморезисторов и постоянным напряжением U_0 , приложенным к терморезистору в момент времени, начиная с которого отсчитывается время задержки.

Для расчета зависимости t_d/τ_T от напряжения U_0 была написана программа на языке Паскаль, исходными данными для которой являются: шаг интегрирования, диапазон напряжений U_0 , шаг изме-

нения U_0 , температура окружающей среды Q , величина ограничивающего резистора $R_{огр}$ и параметры терморезистора. Вычисление интеграла в программе реализовано методом трапеций, значения R_T при разных температурах рассчитываются по формуле (4).

Результаты расчета для исследованного в работе критического терморезистора (табл. 1), выполненные в диапазоне напряжений $7 \text{ В} \leq U_0 \leq 35 \text{ В}$ с шагом $0,1 \text{ В}$ при $Q = 298 \text{ К}$, $R_{огр} = 20,6 \text{ Ом}$ и шаге интегрирования $0,01 \text{ К}$, представлены на рис. 4 сплошной линией. Эти результаты позволяют найти напряжение $U_0 = 8 \text{ В}$, при котором время задержки переключения критического терморезистора совпадает с его тепловой постоянной времени τ_T ($t/\tau_T = 1$). По временной зависимости относительного падения напряжения на терморезисторе, найдено значение тепловой постоянной времени $\tau_T = 30 \text{ с}$, к которой нормированы экспериментальные значения t_d , представленные кружками на рис. 4. Как видно, имеет место хорошее соответствие между результатами расчета и эксперимента, что подтверждает применимость модели „критической температуры” для описания кинетики переключения критических терморезисторов и пороговых переключателей на основе диоксиднованадиевой стеклокерамики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шефтель И.Т. Терморезисторы (Электропроводность 3d –окислов. Параметры, характеристики и области применения).–М.:Наука,1973.–416 с.
2. Терморезистор прямого подогрева ТРП68-01 // Индустрон – 2007 – Режим доступа: <http://www.industron.ru/catalog/relsib/uzt/uzt.htm>.
3. Деклараційний патент 40748А Україна, МКИ С 04 В 35/495, Н 01 В 01/08. Спосіб одержання напівпровідникової кераміки на основі діоксиду ванадію: О.І. Івон, В.Р. Колбунов, І.М. Черненко (Україна); ДНУ. – № 99031402; Заявл. 16.03.99; Опубл. 15.08.2001. Бюл. №7. – 2 с.
4. Ивон А.И., Истушкин В.Ф. Управление кулером с помощью критических терморезисторов // Системные технологии.-2009, 1(60). - С. 93 – 99.
5. Ивон А.И., Колбунов В.Р., Черненко И.М. Защита блока питания компьютера от тока включения//Системные технологии.-2009,1(60).-с.80–88.
6. Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение.– Л.: Наука, 1979. – 183 с.
7. Шашков А.Г. Терморезисторы и их применение.– М.: Энергия, 1967.– 319с.

Получено 15.01.2011г.

О.О. Дробахин, А.В. Доронин, В.Г. Короткая

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ МИКРОВОЛНОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ В ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ

Аннотация. Путем численного моделирования подтверждена возможность повышения точности измерений микроволновым измерителем вибраций на основе калибровки детекторов с помощью нейронной сети по данным, полученным при перемещении подвижного короткозамыкающего поршня.

Ключевые слова. Интерференционный измеритель вибраций, нейронная сеть, вольт-амперная характеристика

Введение. Разработка средств измерения параметров механических перемещений и вибраций остается актуальной научно-технической задачей. Микроволновые методы обладают рядом достоинств, в частности, они обеспечивают безынерционность и бесконтактность измерений. Последнее в условиях термических нагрузок объекта либо помещения его в агрессивную среду является решающим обстоятельством в пользу выбора микроволновых методов.

Анализ публикаций. Наиболее популярным из микроволновых методов измерения параметров движения является интерференционный метод [1]. По сути, согласно этому подходу измерение параметров вибрации объекта СВЧ методами сводится к измерению фазы соответствующего коэффициента отражения объекта, расположенного в свободном пространстве. Традиционно для измерения комплексного коэффициента отражения на одной частоте применяется четырехзондовый измеритель [2], который может рассматриваться как устройство, реализующее интерференционный метод. Возможным также является использование трехзондового измерителя [3].

Постановка задачи. Обработка согласно указанным методам предусматривает квадратичность детекторов, подключенных к зондам. В общем случае характеристики детекторов не известны, применение нейросетевых технологий позволяет учесть такую характери-

стику и пересчитать результаты измерений так, чтобы была реализована квадратичная характеристика. В данных может присутствовать аддитивный шум. Автоматизация измерений предусматривает использование аналого-цифрового преобразования, поэтому важным для практической реализации является определения минимальной необходимой разрядности АЦП.

Цель исследований. Повышение точности оценивания параметров перемещения контролируемого элемента на основе применения нейросетевых технологий для компенсации неквадратичности характеристик детекторов и наличия аддитивного шума в микроволновых измерителях вибраций интерференционного типа.

Основная часть. Влияние отклонения характеристик от квадратичных было исследовано для двух случаев: зависимости вольт-амперной характеристика диодов в виде зависимости из двух прямых с точкой излома, отличающейся для каждого из диодов, и характеристики, описываемой выражением:

$$U_{\text{mod}} = \left[[U \cdot k]^2 + \alpha^2 \right]^\beta - \alpha^{2\beta} \quad (1)$$

Параметры модели (1) для каждого из детекторов были равны следующим значениям: для α – 100, 10, 5, 1, а β – 1/16, 1/8, 1/2, 3, соответственно. Такие зависимости вольт-амперных характеристик детекторов привели к полной потере возможности определения координаты z исследуемого объекта. Этот факт иллюстрируется рис. 1 для четырехзондового измерителя.

Для корректировки характеристики детектора была применена математическая модель трехслойной нейронной сети, имеющей 1 нейрон во входном слое и 1 нейрон в выходном слое. Число нейронов во внутреннем (скрытом) слое определялось исходя из рекомендаций по обеспечению аппроксимации с применением нейросетевых технологий, представленных в [4], и качества функционирования натренированной математической модели нейронной сети. Передаточная функция активации нейронов входного и скрытого слоев сигмоидальная (S – функция), для выходного слоя – линейная.

Тестирование полученных моделей осуществлялось на данных, лежащих в том же числовом диапазоне значений, что и набор данных для тренировки, но взятых с меньшим шагом. Проверялась работоспособность натренированной математической модели нейронной сети

на точках, не входивших в состав данных для тренировки. Зная характер поведения данных для тренировки можно судить об удачном варианте подбора весовых коэффициентов и смещений, а также о качестве работы полученной нейронной сети. Наилучшие результаты показала нейронная сеть, имеющая 11 нейронов в скрытом слое и натренированная в соответствии с алгоритмом масштабируемых сопряженных градиентов. Следует отметить, что весовые коэффициенты и смещения для совокупности моделей нейронных сетей, обеспечивающих эффективное проведение калибровки, для одной и той же характеристики, но различных вариантах тренировки не принимают одинаковые значения. Изменение значений для одной и той же структуры нейронной сети не влияет на качество проведения операции калибровки. Построенные модели характеристик детекторов позволили эффективно оценивать местоположения объекта, причем при изменении расстояния в пределах от 17 до 27 см. максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений для четырехзондового измерителя составило 0,185 см.; модуль среднего отклонения – 0,078 см. Аналогичные параметры для трехзондового измерителя были соответственно 0,186 и 0,078 см.

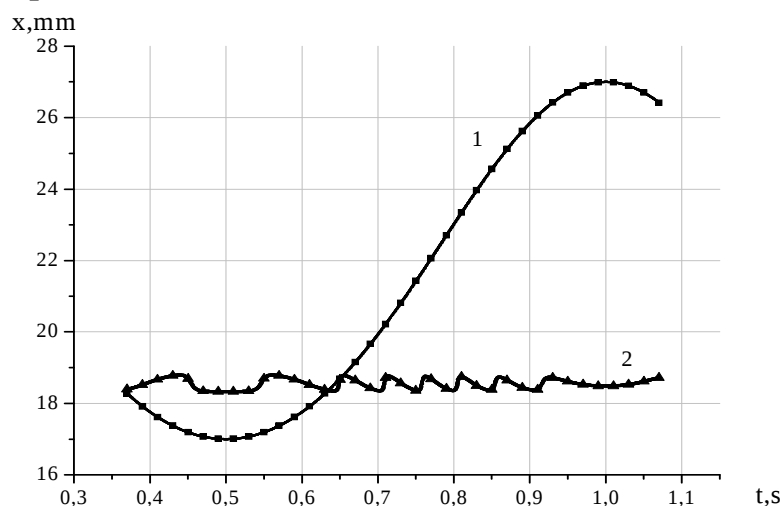


Рисунок 1 – Оценки текущего местоположения контролируемого объекта с использованием системы линейных уравнений для четырехзондового измерителя без применения калибровки: кривая 1 – эталонные значения местоположения, кривая 2 – результаты оценки

В условиях применения многозондового измерителя параметров вибраций невозможно проводить перемещения зонда, поэтому стандартная методика калибровки, которая применяется в волновод-

ных измерительных линиях, неприменима. В этом случае возможность калибровки базируется на использовании результатов измерений для подвижного короткозамыкающего поршня. Такой поршень в идеале имеет коэффициент отражения равный единице. Для реальных ситуаций модуль коэффициента отражения принимает значения несколько меньшие, кроме того, вследствие изменения контакта между волноводом и подвижной частью могут наблюдаться осцилляции значения коэффициента отражения. Для моделирования поведения коэффициента отражения поршня была принята зависимость вида

$$r(e) = 0,95 + 0,5 \sin \frac{4\pi}{\lambda} l \quad (2)$$

где l – расстояние, на которое перемещают подвижный короткозамыкающий поршень.

Для идеального квадратичного детектора в случае проведения калибровки на подвижный короткозамыкающий поршень предполагается справедливость зависимости

$$U_m = k_m \left| 1 + r(l) \cdot \exp \left[i \left[\frac{4 \cdot \pi}{\lambda} \cdot l \right] \right] \right|^2 \quad (3)$$

При отклонении вольт-амперных характеристик от идеальных квадратичных зависимостей были использованы ранее рассмотренные модели. Путем численного моделирования были исследованы возможности применения нейросетевых технологий для осуществления калибровки для случая использования короткозамыкающего поршня. Топология создаваемых математических моделей нейронных сетей была аналогична сетям, рассмотренным ранее. Весовые коэффициенты и смещения, как и для предыдущего случая, приобретали несовпадающие значения при проведении серии тренировок.

Использование нейросетевых технологий для проведения калибровки детекторов и в этом случае позволило в целом получить существенное повышение точности. Максимальное отклонение оценки местоположения контролируемого объекта от эталонных значений для четырехзондового измерителя составило 0,15 см.; модуль среднего отклонения – $6,6 \cdot 10^{-3}$ см. Для трехзондового измерителя соответствующие значения были – 0,35 и $1,9 \cdot 10^{-2}$ см. Следует отметить некоторый рост среднего значения погрешности определения местоположения по сравнению со случаем проведения классической калибровки, однако максимальные значения погрешности сохранились.

Было проведено исследование влияния наличия аддитивного гауссового шума на точность определения параметров перемещения объектов при использовании нейросетевых технологий для проведения калибровки детекторов, имеющих вольт-амперную характеристику в виде ломаной зависимости. Усреднение было проведено по десяти реализациям шума. Наличие шума оценивалось по отношению сигнал/ шум. Были рассмотрены значения отношения 12, 8, 5 дБ. При этом для четырехзондового измерителя был получен следующий ряд максимальных отклонений оценок от точных значений 0,17, 0,20, 0,60 см, для средних значений были получены оценки $1,1 \cdot 10^{-2}$, $2,2 \cdot 10^{-2}$, $4 \cdot 10^{-2}$ см. Аналогичные значения для трехзондового измерителя составили 0,39, 0,59, 2,21 и $2,5 \cdot 10^{-2}$, $4,1 \cdot 10^{-2}$, 0,60 см соответственно.

Для оценки необходимой разрядности АЦП была проведена серия численных экспериментов по усечению числа разрядов. Такое усечение сопровождается появлением в обрабатываемых данных соответствующего шума. Зависимость оценки местоположения носит пороговый характер. Для четырехзондового измерителя удовлетворительные результаты наблюдались начиная с 4 разрядов, для трехзондового измерителя – с 5 разрядов.

Выводы. Проведенные эксперименты подтвердили эффективность применения нейросетевых технологий для проведения калибровки детекторов при использовании трехзондовых волноводных СВЧ датчиков перемещений, было обеспечено повышение точности определения местоположений отражателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоволновой измеритель параметров вибраций / Д. Ф. Руденко, А. И. Волковец, А. В. Гусинский, А. М. Кострикин, О. О. Герасименко, А. Б. Дзисяк // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии : 15-я Международная конференция, 12 – 16 сентября, 2005 г., Севастополь : материалы конференции. – Севастополь : Вебер, 2005. – С. 829 – 830.
2. Бондаренко И.К., Дейнега К.А., Маграчев З.А. Автоматизация измерений параметров СВЧ трактов. – М.: Сов. Радио, 1969. – 301 с.
3. Drobakhin O.O., Karlov V.A. Holographic Approach to Microwave Measurement // Proceedings of 16-th International Symposium on Electromagnetic Theory – Thessaloniki, Greece, 1998. – V. 1. – pp. 109-111.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. / С. Хайкин. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

Получено 15.01.2011г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ В ДЕФЕКТОСКОПИИ

Аннотация. Проведено моделирование трехслойной нейронной сети прямого распространения для решения задач классификации сигналов в дефектоскопии.

Ключевые слова: нейронные сети, многослойный персептрон, обучение на основе обратного распространения.

Введение. Задача идентификации (процессов, систем, сигналов) или построение математической модели по результатам наблюдений занимает одно из главных мест в современной теории управления и принятия решений в разных областях науки и техники. Традиционные подходы становятся все менее пригодными. Большинство процессов не могут быть описано с помощью традиционных статистических моделей, поскольку они являются нелинейными и обладают слабыми адаптивными способностями[1, 2].

В настоящее время эти проблемы решают с помощью искусственных нейронных сетей. Нейронные сети – это математические модели, состоящие из элементарных единиц обработки информации (нейронов), накапливающих экспериментальные знания и предоставляющих их для последующей обработки. К важнейшим свойствам нейронных сетей относятся параллельность обработки информации одновременно всеми нейронами, способность к обучению, абстрагированию и обобщению полученных знаний. Наличие таких характеристик обеспечивает получение ожидаемой реакции сети применительно к соответствующим данным, нечувствительность нейронной сети к малым изменениям входных сигналов, а также возможность работы с искаженными вариантами анализируемых объектов[3] .

Проблемы классификации являются одними из наиболее часто возникающих и решаемых задач в производственной деятельности. Их решение заключается в разработке таких правил и закономерностей, которые позволили бы распознать определённые явления или объекты и определить их принадлежность к каким-то классам (груп-

пам, категориям). На основе многочисленных исследований подтверждено, что нейронные сети обеспечивают высокую эффективность распознавания[4] .

Целью данной работы является построение и исследование модели нейронной сети для решения задач классификации зашумленных сигналов, получаемых при сканировании композитных материалов

Основные положения. При проведении неразрушающего контроля композитных материалов измерительные сигналы имеют различную форму. Форма сигнала дает представление о характере трещины. Можно выделить три вида сигналов: унимодальный, унимодальный с пологой вершиной и бимодальный. В свою очередь композитные материалы отличаются сложным рельефом поверхности и изменениями объемной электрической проводимости, при проведении контроля возникают шумы различной интенсивности, что значительно усложняет процесс получения надежного сигнала дефекта. Появляется проблема распознать сигнал и его классифицировать.

Для решения задачи идентификации и классификации предлагается использовать искусственные нейронные сети[5, 6]. Каждая искусственная нейронная сеть представляет собой множество соединённых определённым образом простых элементов - нейронов, это в результате даёт огромную вычислительную мощность параллельной обработки данных. Конкретный вид выполняемого нейронной сетью преобразования данных обуславливается не только характеристиками входящих в её структуру нейронов, но и особенностями её архитектуры, а именно топологией межнейронных связей, направлением и способами передачи информации между нейронами, а также способами обучения сети.

В задаче классификации нейронная сеть должна отнести каждое наблюдение к одному из классов или, в общем случае, оценить вероятность принадлежности наблюдения к каждому из классов. В ситуации, когда классифицируемый входной сигнал не соответствует ни одному из образцов (например, нарушен случайными помехами), в нейронных сетях производится процесс распознавания, а позже в результате распознавания - классификация.

Для классификации в работе используется многослойные нейронные сети прямого распространения. Такие нейронные сети пред-

ставляют собой нелинейные системы, позволяющие гораздо лучше классифицировать линейно-неразделимые данные, чем обычно используемые статистические методы. Многослойный персептрон (multilayer perceptron - MLP) состоит из множества входных узлов (узлов источника), которые образуют входной слой, одного или нескольких скрытых слоев вычислительных нейронов и одного выходного слоя нейронов, при этом сигнал распространяется по сети в прямом направлении от входного через скрытые к выходному слою. При обучении MLP используется алгоритм обратного распространения ошибки (back-propagation learning) [6]. Суть этого алгоритма заключается в следующем:

- во время прямого распространения генерируется набор выходных сигналов, который является реакцией сети на предъявляемый входной образ, при этом все синаптические веса нейронов остаются фиксированными;

- во время обратного прохода все синаптические веса настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок, при котором фактический выход вычитается из желаемого отклика, в результате чего формируется сигнал ошибки;

- сигнал ошибки распространяется по сети в обратном направлении, подстраивая все синаптические веса нейронов с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому [6].

Каждый нейрон MLP обучаемого на основе обратного распространения имеет нелинейную гладкую (всюду дифференцируемую) функцию активации,

Наличие в многослойном персептроне скрытых нейронов позволяет сети обучаться решению сложных задач, последовательно извлекая наиболее важные признаки из входного образа (вектора). Многочисленные эксперименты показывают, что обучение на основе обратного распространения хоть и позволяет получить высокую точность классификации, однако требует недопустимо большого (для решения практических задач) времени обучения. Поэтому обратное распространение использует различные алгоритмы оптимизации для сокращения времени обучения.

Применение градиентного алгоритма обучения является специфической реализацией градиентного спуска в пространстве весовых коэффициентов и смещений MLP и обеспечивают движение по по-

верхности функционала ошибки в направлении, противоположном вектору градиента. К ним относятся алгоритмы: градиентного спуска с параметром скорости обучения (настройки) – GD (traingd); градиентного спуска с адаптацией параметра скорости обучения – GDA (trainгда); пороговый алгоритм с эвристической стратегией изменения приращения настраиваемых параметров – Rprop (trainrp) [6, 7].

Формально все алгоритмы градиентного спуска можно записать в следующем виде:

$$w_{k+1} = w_k - \alpha_k g_k \quad (1)$$

где w_k – вектор весовых коэффициентов;

α_k – параметр скорости обучения;

g_k – вектор градиента функционала ошибки.

Переходя от k -й итерации к $k+1$ -й, алгоритм выполняет коррекцию весовых коэффициентов:

$$\Delta w_k = w_{k+1} - w_k = -\alpha_k g_k, \quad (2)$$

Из (2) следует, что метод градиентного спуска работает на основе линейной аппроксимации функции стоимости в окрестности текущей точки w_k , при которой единственным источником информации о поверхности ошибок является градиент g_k . Такое ограничение обеспечивает значительное преимущество – простоту реализации. К сожалению, оно приносит и нежелательный результат – низкую скорость сходимости.

В работе применяется алгоритм GDA, который использует эвристическую стратегию изменения параметра α в процессе обучения. На каждом цикле обучения вычисляются значения настраиваемых параметров и новые значения выходов и погрешностей. Новые значения сравниваются со значениями, полученными на предыдущем шаге. Если новая погрешность меньше прежней, то параметр скорости настройки увеличивается, и наоборот.

Анализ результатов экспериментальных исследований. Для моделирования нейронной сети использовался инструмент Neural Networks Toolbox пакета прикладных программ MATLAB 6.5, поскольку он довольно гибкий, обеспечен широким набором команд и функций для проектирования и исследования нейронных сетей[7].

Для моделирования сигналов, получаемых при сканировании композитных материалов, используется разность экспонент [8] в точках $x = -2, -1.9, \dots, 2$:

$$y(x) = \exp(-1.5x^2) - k \cdot \exp(-3x^2) \quad (3)$$

где k изменяется от 0 до 1. Используя различные значения k , можно получить такие формы сигналов дефектоскопии: узкий унимодальный сигнал (характерен для длинной трещины, длина которой превышает зону контроля), пологий унимодальный и бимодальный (характерен для коротких трещин и точечных дефектов).

Модель структуры нейронной сети для распознавания сигналов приведена на рис. 1, где $IW\{1,1\}$, $LW\{2,1\}$, $LW\{3,2\}$ – весовые матрицы входного, скрытого и выходного слоев, соответственно; $b\{1\}$, $b\{2\}$, $b\{3\}$ – векторы смещения входного, скрытого и выходного слоев, соответственно; $p1$ – входной информационный векторный массив; y – выходной векторный массив; $a1$, $a2$, $a3$ – массивы значений функций активации первого, скрытого и выходного слоев, соответственно.

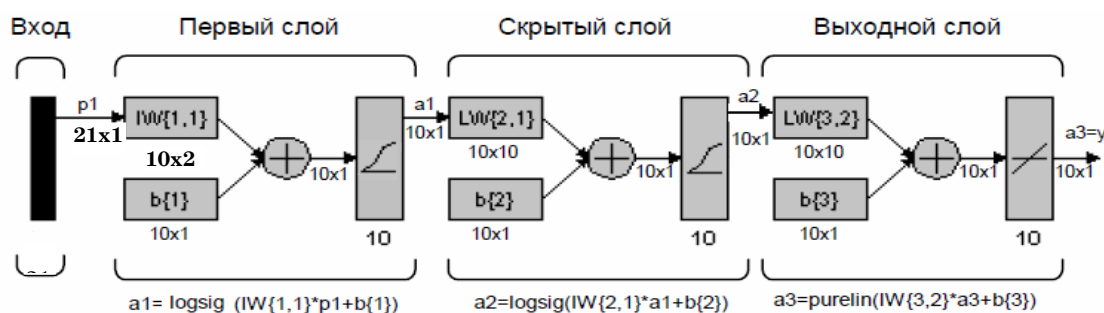


Рисунок 1 - Структурная схема нейронной сети

Для решения поставленной задачи сформирована трехслойная сеть обратного распространения, включающая 21 нейрон во входном слое (по числу компонент входного вектора) с передаточной функцией logsig , 10 нейронов во втором слое с логистической сигмоидальной функцией logsig и 3 нейрона в выходном слое (по числу компонент выходного вектора) с линейной функцией purelin . Входной и выходной слои преимущественно осуществляют подготовку данных для дальнейшего использования, а также преобразование полученных результатов. Скрытый слой выполняет все основные вычисления, и его функцией активации может быть логистическая сигмоидальная или гиперболический тангенс.

Чтобы нейронная сеть могла обрабатывать искаженные векторы входа, выполним ее обучение на идеальных и на искаженных векторах. Обучение выполняется с помощью функции `traindga`, которая реализует метод обратного распространения ошибки с адаптацией параметра скорости настройки.

Сначала проведем обучение сети при отсутствии шума с максимальным количеством циклов обучения 200 или до достижения допустимой средней квадратичной погрешности, которая равняется 0.01. Как видно на рис. 2 сеть научилась уже после 86 эпох (циклов).

Затем проведем обучение при наличии шума. Искаженные векторы имеют шум со средним значением 0.1 и 0.2. При обучении с шумом максимальное количество циклов обучения оставим прежним, а допустимую погрешность увеличим до 0.06 (рис.3).

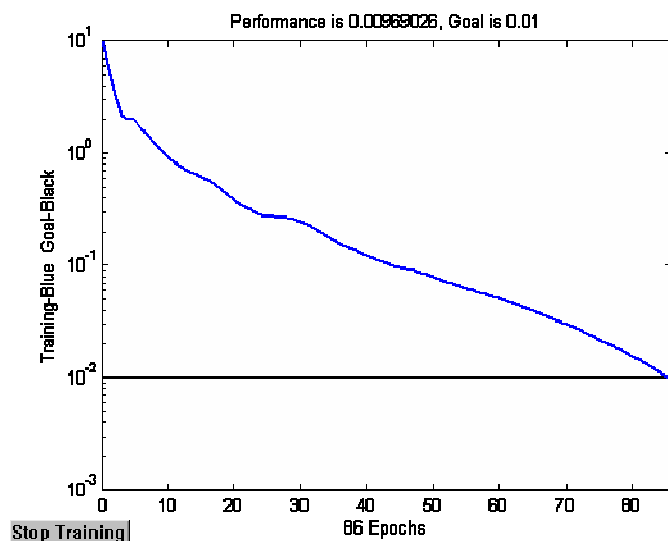


Рисунок 2 - Обучение сети при отсутствии шума

Оценим эффективности функционирования созданной нейронной сети. Тестирование реализуется следующим образом. Шум со средним значением 0 и стандартным отклонением от 0 до 0,3 с шагом 0,05 добавляется к векторам входа. Для каждого уровня шума формируется 10 зашумленных сигналов и вычисляется выход сети. После этого оценивается количество ошибочных классификаций и вычисляется процент ошибки. Соответствующий график погрешности сети от уровня шума приведен на рис. 4.

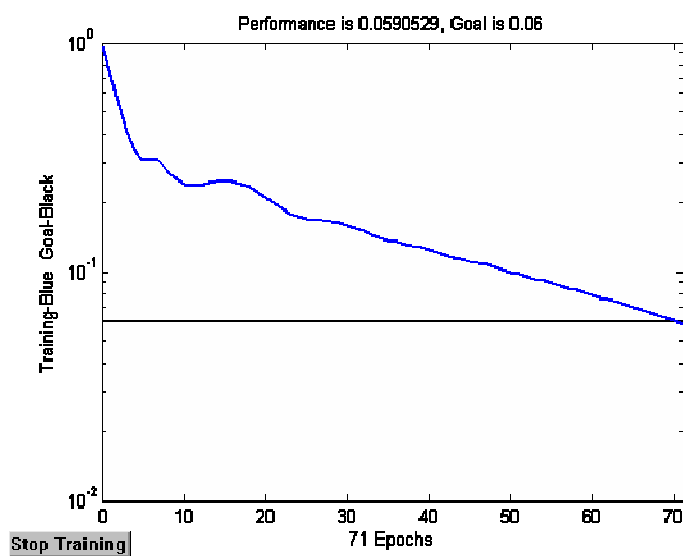


Рисунок 3- Обучение сети при наличии шума

Сеть имеет маленькую погрешность, если среднеквадратичное значение шума находится в пределах от 0 до 0.1. С увеличением уровня шума процент ошибок резко возрастает.

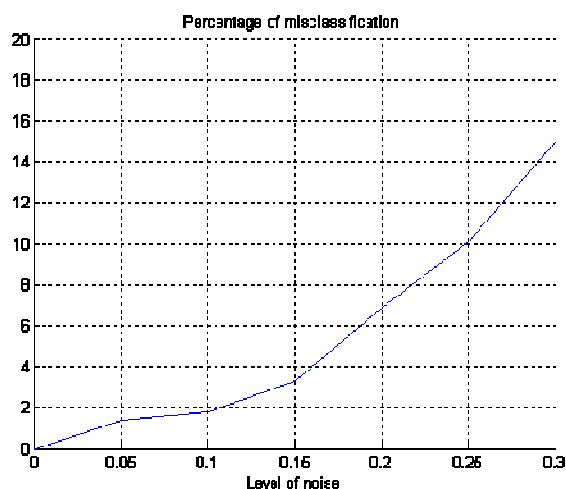


Рисунок 4 - Зависимость погрешности сети от уровня входного шума

Выводы. Исследована модель нейронной сети – многослойный персептрон – для классификации сигналов дефектоскопии. Обучение нейронной сети на разных наборах искаженных векторов позволило научить ее работать с искаженными данными, что характерно для реальных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение, 1978.
2. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. - М.: Высшая школа, 1989.- с.
3. Хайкин С.. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
4. Стариков А.В. Практическое применение нейронных сетей для задач классификации (кластеризации) // BaseGroup. – 2000 (www.basegroup.ru).
5. Аксенов С.В. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / С.В. Аксенов, В.Б. Новосельцев – Томск: Изд-во НТЛ, 2006.
6. Дьяконов В., Круглов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.
7. Медведев В.С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с
8. Хандецкий В.С. Спектральная идентификация сигналов в дефектоскопии композитов с использованием теории статистических испытаний / Хандецкий В.С., Герасимов В.В. // Вісник ДНУ: Фізика. Радіoeлектроніка. – Дніпропетровськ: – 2003. № 10. – С. 128 – 132

Получено 15.01.2011г.

И.В. Пономарев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА МВС

Аннотация. Предложена модель обработки изображений, позволяющая заранее оценить эффективность выполнения на многопроцессорной вычислительной системе и изучить влияние на время обработки таких параметров конфигурации системы и организации процесса обработки, как число мультипроцессоров и размер фрагмента данных.

Ключевые слова: моделирование, сеть Петри, мультипроцессор.

Введение. Задачи обработки аэрокосмических изображений, намного превышающих объем оперативной памяти, требуют высокой скорости вычислений и выполняются на многопроцессорных вычислительных системах (МВС) типа одна команда - много данных (ОКМД) [1]. Время обработки в мультипроцессоре ОКМД-типа зависит от числа процессорных элементов (ПЭ) и размещения данных в памяти. Существуют МВС содержащие несколько мультипроцессоров, а также реконфигурируемые системы, у которых может изменяться число мультипроцессоров и количество ПЭ в них. Это делает актуальным разработку организации процесса обработки изображений на МВС с различными конфигурациями системы.

Постановка задачи. Необходимо разработать модель обработки изображений с учетом пространственного параллелизма и параллелизма задач для эффективного выполнения на МВС.

Основная часть. Для МВС, содержащей мультипроцессоры ОКМД-типа, естественно использовать двухуровневую систему программирования, где на нижнем уровне на специализированных языках программируются алгоритмы обработки, а на верхнем уровне организуется общий процесс вычислений на языке управления заданиями.

Процесс обработки изображений, являющихся большими объектами данных, предполагает разбиение их на фрагменты и пофрагментную обработку, которая позволяет применить иерархическую ор-

ганизацию вычислительного процесса: выполнение процедуры - выполнение задачи - выполнение задания [2].

Задание состоит из ряда задач, каждая из которых обрабатывает объект данных согласно одному алгоритму. Задача содержит прикладную процедуру, выполняющую алгоритм обработки над фрагментом данных в памяти мультипроцессора, и вспомогательные процедуры, обеспечивающие выполнение этого алгоритма над всем множеством фрагментов входного объекта данных. Таким образом, в задании выполняется множество процедур над множеством фрагментов изображения, причем возможно их одновременное выполнение.

Процесс обработки представлен следующим образом:

$$Y = \bigcup_{k=1}^L \left(\bigcup_{i=1}^{N_k} \left(\bigcup_{j=1}^{M_k} P_{k,j}(X_i) \right) \right),$$

где $\bigcup$ - представляет объединение, X_i - фрагмент входного объекта данных, Y - выходной объект данных, L - число задач в задании, N_k - количество фрагментов для задачи k , M_k - число процедур в задаче k , $P_{k,j}$ - процедура j задачи k .

Управление выполнением задания базируется на методе асинхронного программирования. Каждой процедуре ставится в соответствие условие инициирования – спусковая функция, представляющая собой логическую функцию от управляющих переменных. В качестве управляющих переменных используются логические переменные процедур, наборов данных и параметров, а так же специальные переменные.

Предлагается модель задания обработки изображения, в которой определяются условия запуска процедур. В качестве основы модели задания выбрана модель параллельных вычислений на базе расширенной сети Петри РСМ [3]. В предлагаемой модели, названной параметризированной сетью Петри, явно добавлено множество параметров конфигурации, задающее параметризацию переходов, мест, а также соответствующих им фишек. Правила срабатывания переходов модифицируются с учетом параметризации.

Параметризованная сеть Петри определяется как набор

$$PN = (T, P, F, M_o, C, S, R, D, K),$$

где T, P, F, M_o имеют тот же смысл, что и в обычной сети Петри [4],

C - множество управляющих переменных,

S- множество спусковых функций,

R- множество процедур модификации управляющих переменных,

D- множество времен срабатывания переходов.

K- множество параметров конфигурации.

С каждым переходом t_i связано множество управляющих переменных s_i , спусковая функция s_i , процедура перехода r_i , время срабатывания перехода d_i и параметр конфигурации k_i . Спусковая функция s_i определяется на управляющих переменных и используется для определения готовности перехода к срабатыванию по правилам срабатывания. Процедуры переходов так же оперируют управляющими переменными и используются для их модификации. Время срабатывания определяет задержку, связанную с переходом, и может представлять функцию от управляющих переменных.

Любой переход (или место) может быть параметризован соответствующим ему параметром конфигурации. Параметризованные места содержат фишки, пронумерованные значениями из множества этого параметра конфигурации. Одним из параметров конфигурации выступает число мультипроцессоров в МВС.

Определим правила срабатывания переходов модели. Переход может находиться в трех состояниях:

- готовности,
- неготовности,
- срабатывания.

Переход готов к срабатыванию, если все его входные места содержат хотя бы по одной фишке (ненумерованной или с номером из множества параметра перехода), а спусковая функция, соответствующая переходу, является истинной.

Готовый к срабатыванию переход входит в состояние срабатывания и из каждого его входного места изымается по одной фишке.

Переход остается в состоянии срабатывания промежуток времени, определенный его временем задержки. В конце этого периода в каждое его выходное место добавляется по одной фишке и выполняется соответствующая процедура модификации. Для параметризованного перехода фишка имеет тот же номер, что и входная фишка перехода. После этого переход попадает в неготовое состояние.

Состояние в любой момент определяется текущей разметкой сети, вектором управляющих переменных и вектором «оставшегося времени срабатывания» переходов. Разметка сети определяет состояние управления, а вектор управляющих переменных – состояние данных.

Построим модель задания в терминах параметризированной сети Петри следующим образом.

1. Модель представляет собой сеть $PN=(T, P, F, M_o, C, S, R, D, K)$.

2. Каждой процедуре задания соответствует переход t_i в сети PN , $t_i \in T$.

3. Логической переменной набора данных, параметра, процедуры или управляющей логической переменной, используемой в спусковой функции, соответствует место p_j , $p_j \in P$.

4. Если логическая переменная, соответствующая месту p_j , используется в спусковой функции процедуры, соответствующей переходу t_i , то существует дуга $F(p_j, t_i)$, исходящая из p_j и входящая в t_i .

5. Если в выходе процедуры, соответствующей переходу t_i , указана логическая переменная, соответствующая месту p_j , то существует дуга $F(t_i, p_j)$, исходящая из t_i и входящая в p_j .

6. Начальная разметка сети M_o представляет собой вектор $M_o=\{m_1, m_2, \dots, m_p\}$. Количество фишек m_j в месте p_j равно значению управляющей переменной c_j для не параметризованного места и $c_j \cdot (k_{j2}-k_{j1}+1)$ (т.е. значению управляющей переменной c_j умноженному на $k_{j2}-k_{j1}+1$ значений параметра конфигурации), если место параметризовано со значением параметра конфигурации $k_j = \overline{k_{j1}, k_{j2}}$.

7. Множество параметров конфигурации $K=\{k_1, k_y, \dots, k_x\}$, определяется областями значений параметров конфигурации $k_j = \overline{k_{j1}, k_{j2}}$. Параметризация переходов и мест задается двумя множествами: $K_t=\{k_{t1}, k_{t2}, \dots, k_{tt}\}$ и $K_p=\{k_{p1}, k_{p2}, \dots, k_{pp}\}$, где в позиции $k_{ti}(k_{pi})$, соответствующей переходу t_i (месту p_j), стоит 0 – если переход (место) не параметризован или параметр $k_{ti}(k_{pi})$ – для параметризованного перехода (места).

8. Число фрагментов набора данных является одной из специальных управляющих переменных. В спусковой функции перехода, соответствующей прикладной процедуре, присутствует проверка на

неравенство нулю этой специальной переменной. После обработки одного фрагмента она уменьшается на единицу в процедуре модификации управляющих переменных перехода.

9. Время выполнения процедуры, соответствующей переходу t_i , задается как функция от размера фрагмента данных и числа ПЭ.

Пример параметризированной сети Петри для задания трансформирования изображения по многочленам приведен на рис. 1.

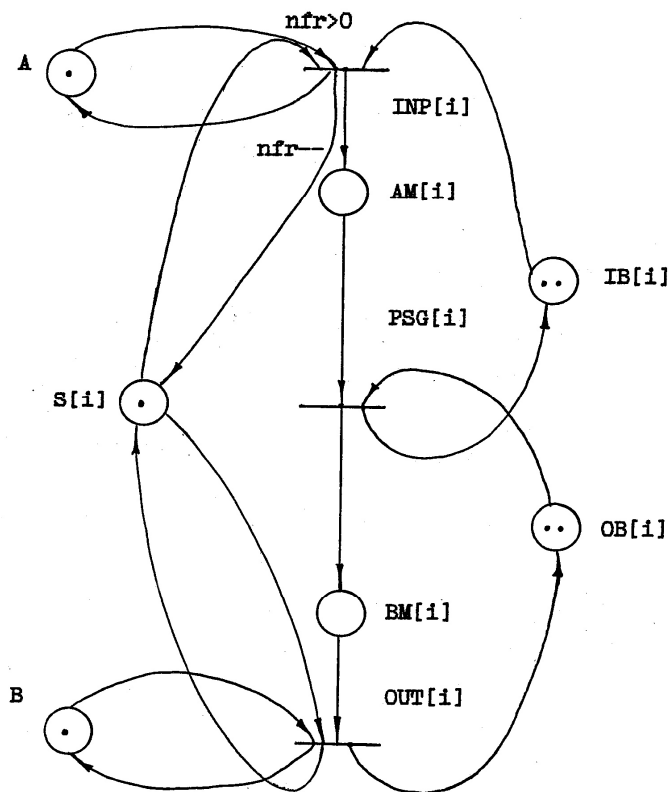


Рисунок 1 - Пример параметризированной сети Петри

Для выбора эффективной организации процесса обработки изображений на МВС проводится моделирование вычислений предложенной параметризированной сетью Петри, поддерживающей временные атрибуты переходов, а также зависимости их срабатывания от данных и от конфигурации МВС. С ее помощью изучается влияние размеров фрагментов изображения на время выполнения задания при разном числе ПЭ в мультипроцессоре и разном количестве мультипроцессоров в МВС.

Для задач предварительной обработки изображений проведенное моделирование позволило выбрать оптимальные размеры фрагментов, при которых время выполнения задания минимальное. Сокращение времени обработки в среднем составляет 15-18%.

Вывод. Предложена модель задания, предоставляющая возможность заранее оценить эффективность его выполнения системой определенной архитектуры и изучить влияние на длительность обработки таких параметров конфигурации системы и организации процесса обработки, как число мультипроцессоров и размер фрагмента данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Головкин Б.А. Параллельные вычислительные системы.- М.: Наука, 1980.- 459 с.
2. Пономарев И.В., Федотов А.Г. Структурные свойства данных и методы построения программного обеспечения реконфигурируемых многопроцессорных систем с общим управлением.- М.: Вопросы кибернетики, 170, 1991, с. 132-158.
3. Adiga A.K., Browne J.C. A graph model for parallel computations expressed in the Computation Structure Language// Proc. of the 1986 Intern. Conf. on Parallel Processing, August 19-22. 1986. P. 880-886.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем.- М.: Мир, 1984.- 264 с.

Получено 19.01.2011г.

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ

Аннотация. В данной работе рассмотрены алгоритмы, устанавливающие факт наличия определенного параметра (события, элемента) в системе (множестве) из числа заданных. Разработана методика выбора минимального набора тестов (вопросов), позволяющая производить идентификацию с точностью до элемента.

Ключевые слова: система; тест; множество параметров; матрица покрытий тестов.

Постановка задачи. Обозначим через $X=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ множество параметров (событий), далее – элементов некоторой системы. Имеется также множество $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ тестов, каждый из которых определяет наличие в системе соответствующих подмножеств элементов $Y_1, Y_2, \dots, Y_m, \forall Y_i \in X$. Необходимо предложить методику выбора минимального набора тестов, позволяющую производить идентификацию наличия в системе любого x_i -го параметра с точностью до элемента.

Основные результаты. По результатам проведения тестового эксперимента поставим в соответствие каждому из тестов $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ вектор симптомов $S=\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$, причем, $\forall s_i=0$, если тест T_i свидетельствует о наличии подмножеств элементов Y_i в системе и $\forall s_i=1$ в противном случае.

В работе [1] были доказаны необходимые теоремы и получены структурные алгоритмы нахождения списков подозреваемых неисправностей электронных устройств, которые могут быть адаптированы с целью решения поставленной в данной работе задачи.

В соответствии с принятой здесь системой обозначений, основные два из упомянутых алгоритмов могут выглядеть следующим образом.

$$L = \bigcap_{i \in s_i=0} Y_i \setminus \bigcup_{j \in s_j=1} Y_j \quad (1)$$

$$L = \bigcup_{i \in s_i=0} Y_i \setminus \bigcup_{j \in s_j=1} Y_j, \quad (2)$$

где L – список элементов, присутствующих в системе. Сначала L вычисляется в соответствии с алгоритмом (1), а, если при этом, получается пустое множество, применяется методика (2).

Первый случай соответствует наличию в системе, скорее всего, одного или, возможно, нескольких элементов из списка L , а второй – свидетельствует о присутствии в ней сразу нескольких элементов данного списка.

В более поздних работах автора были получены матричные варианты указанных методик, а также разработаны улучшенные, более быстрые машинные алгоритмы.

Однако, в данной статье поставлена задача определения одного конкретного элемента системы, а не списка элементов, который, в общем случае, является результатом работы рассмотренных выше алгоритмов.

Поэтому, в дальнейшем, будем считать, что в системе присутствует только один элемент.

В работе [2] была предложена методика введения дополнительных, в нашей интерпретации, тестов для однозначной идентификации элементов. Но она решалась с привлечением методов теории графов и носит эвристический характер, затрудняющий компьютерную реализацию, поэтому приведем другой, более простой машинно-ориентированный подход.

Введем в рассмотрение бинарную матрицу покрытий тестов C , имеющую m строк и n столбцов, где $c_{ij}=0$, если i -й тест проверяет наличие j -го элемента в системе, а если это не так, то этот элемент матрицы равен единице. Данный способ выбора значений элементов матрицы C обусловлен способом выбора значений вектора симптомов S и предназначен для прямой адаптации алгоритмов (1) и (2) к целям работы.

Учитывая специфику матрицы C , легко видеть, что ее столбцы соответствуют векторам симптомов соответствующих элементов для случая наличия в системе только одного конкретного элемента. А, так как однозначность при идентификации наличия элементов системы будет достигнута при полной различимости всех векторов симптомов, то необходимым и достаточным условием для этого является такая же различимость всех столбцов матрицы.

Поэтому, для достижения поставленной задачи, в случае равенства каких-либо столбцов матрицы C , с целью обеспечения их различимости необходимо вводить дополнительные строки (тесты).

Рассмотрим случай, когда в матрице имеется два одинаковых столбца, или таких пар несколько. Тогда, в целях облегчения процедуры построения тестов, необходимо скопировать и добавить в матрицу любую строку, содержащую ноль в данных столбцах, заменив при этом один из таких нулей на единицу.

Это, в терминах построения тестов, соответствует случаю, когда при генерации нового теста просто копируется один из старых тестов и, при этом, в новом тесте исключается процедура проверки наличия одного из двух, в данном случае, элементов.

Пример. Пусть имеется следующая матрица покрытий тестов

	1	2	3	4	5	6	7
t1	0	0	1	1	0	1	1
t2	0	0	0	1	1	0	1
t3	0	1	0	0	1	1	0

Неразличимыми являются четвертый и седьмой столбцы, что соответствует неоднозначной идентификации 4-го и 7-го элементов. Вводим дополнительный тест, что приводит к решению задачи. В итоге, матрица C примет вид:

	1	2	3	4	5	6	7
t1	0	0	1	1	0	1	1
t2	0	0	0	1	1	0	1
t3	0	1	0	0	1	1	0
t4	0	1	0	0	1	1	1

Выводы. Таким образом, в данной работе предложен алгоритм, позволяющий производить определение наличия конкретного (одного) элемента (параметра) в определенной системе при неразличимости двух элементов.

Направление дальнейших исследований: разработка соответствующей методики при неразличимости нескольких элементов, а также изучение случая наличия в системах нескольких элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыбка Ю.М. Алгоритмы структурно-функционального диагностирования электронных устройств. – В сб. Приборы и методы автоматизации экспериментальных исследований. Днепропетровск, ДГУ, 1984, С 88-91.
2. Рыбка Ю.М. Методика определения минимального набора контрольных точек. – Там же, С 92-95.

Получено 17.01.2011г.

Д.П. Сівцов, М.В. Васькін

**ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРАКТИЧНОЇ
РЕАЛІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЧІВ ІМПЕДАНСУ
НА ОСНОВІ МІКРОСХЕМ AD5934/5933**

Анотація. Наведені і обговорені результати експериментальних досліджень особливостей використання мікросхем AD5934/5933 як основи побудування цифрових вимірювачів імпедансу. Отримані результати можуть бути корисними при розв'язанні наукових і технічних задач, які потребують вимірювання імпедансів кондуктометричних, вихорострумів та електроємнісних сенсорів на фіксованій частоті або у діапазоні частот.

Ключові слова: електричний імпеданс, магнітуда, модуль, фаза, частотна характеристика, імпедансна спектроскопія сенсор, вимірювання, технологічний контроль, мікроконтролер, інтерфейс.

Вступ. Вимірювання модулю та фази або дійсної та уявної складових електричного імпедансу потрібно при вирішенні численних задач в наукових дослідженнях, технологічному контролі матеріалів та виробів, експлуатаційному контролі готових виробів, тощо. Інформація щодо параметрів, які вимірюються або контролюються, отримується через вимірювання імпедансу відповідних кондуктометричних, вихорострумів та електроємнісних сенсорів. Якщо отримання такої інформації на фіксованій частоті у теперішній час відносно задовільно вирішеною задачею, то у разі потреби вимірювань у діапазоні частот, тобто виконання імпедансної спектроскопії дослідники та інженери-розробники стикаються з досить серйозними труднощами як технічного, так і фінансового характеру. Більшість серійних вимірювачів імпедансу, представлених на ринку України, працюють на фіксованій частоті, у кращому випадку - на декількох частотах. Не всі також забезпечують представлення складових імпедансу у вигляді цифрового коду. Як правило, вони орієнтовані на визначення параметрів радіоелементів, тобто по суті являють собою RLC -метри. Крім цього, серійні вимірювачі є приладами загального призначення,

їх можливості в частині діапазону значень імпедансу для багатьох практичних задач надмірні.

Сучасні вимірювачі імпедансу закордонного виробництва мають високі метрологічні і експлуатаційні характеристики, цифровий інтерфейс, однак коштують дуже багато. Більшість з них також є приладами загального призначення.

Таким чином, застосування вказаних технічних засобів може бути економічно і технічно обґрунтованим в науково-дослідницьких лабораторіях або організаціях, які займаються розробкою електронної апаратури. Щодо їх застосування для вирішення задач технологічного контролю матеріалів та виробів, експлуатаційного контролю готових виробів і т.п., то в багатьох випадках це уявляється проблематичним з практичних міркувань.

Огляд сучасного стану питання та постановка задачі. Аналіз науково-технічних витоків показує, що у теперішній час існує практичний інтерес до таких технічних рішень в галузі імпедансометрії, які б забезпечували високу точність, гнучкість щодо застосувань трьох вказаних вище типів сенсорів, сучасний цифровий інтерфейс, можливість перепрограмування параметрів вимірювання (в першу чергу імпедансної спектрометрії), відмінні масо-габаритні показники, здатність до роботи в лабораторних, виробничих і польових умовах, невисоку вживану електричну потужність і все це при низькій вартості реалізації.

Одне з таких рішень може бути основане на використанні спеціалізованих мікросхем AD5934 або AD5933, розроблених корпорацією Analog Devices. Ці мікросхеми побудовані на основі перетворювача "струм-напруга" до якого підключається імпеданс, що вимірюється. Струм через імпеданс збуджується напругою від "синтезатору частот прямого цифрового синтезу (DDS core)". Ця напруга є дискретним представленням синусоїди, тому вихідний сигнал перетворювача "струм-напруга" після АЦП обробляється процесором дискретного перетворення Фур'є (DFT core) з подальшим перетворенням параметрів імпедансу в код [1]. Усі вказані компоненти а також операційні підсилювачі, регістри та компоненти інтерфейсу I2C розміщені на одному кристалі. Теорію вимірювальних перетворень детально проаналізовано в роботах [7,8,9], тому ми її тут не повторюємо.

AD5934/33 забезпечують роздільне вимірювання т.з. магнітуди (не відкоригованого модулю) та не відкоригованої фази імпедансу з перетворенням отриманих значень в двійковий код, який може бути отриманий зовнішнім споживачем інформації через інтерфейс I2C. За допомогою цього інтерфейсу здійснюється також програмування AD5934/33 шляхом передачі кодів керування параметрами і процесом вимірювання. Окрім цього, у разі використання AD5934 обов'язково потрібен зовнішній генератор синхросигналів (для AD5933 є можливість роботи від внутрішнього генератора, вбудованого у саму мікросхему).

Таким чином для побудування контрольно-вимірювального приладу однієї мікросхеми AD5934 або AD5933 недостатньо – обов'язково потрібен зовнішній пристрій з інтерфейсом I2C, – мікроконтролер загального призначення [1,2,7,9]. Наявність в його складі шини I2C є єдиною умовою, тобто Analog Devices ніяк обмежує розробників вибором типу мікроконтролеру. Використання достатньо потужного мікроконтролеру дає змогу здійснювати не тільки прийом/передачу даних по шині I2C, а й такі функції, як обчислення фактичних значень модулю і фази імпедансу по отриманим кодам магнітуди і не відкоригованої фази, значення дійсної і уявної складових імпедансу; усереднення вказаних значень по заданій множині вимірювань; забезпечення інтерфейсу з пристроєм візуалізації, персональним комп'ютером, або з іншими пристроями контролюючої чи вимірювальної системи.

Концепція тандему "AD5934/33 – мікроконтролер" практично втілена Analog Devices у виробках AD5934EB та AD5933EB, які являють собою функціонально закінчені одноплатні пристрої з портами підключення об'єктів вимірювання або каліброваних імпедансів та портом USB [2]. У виробках використано мікроконтролер CY7C58013, який виконує функцію спряження I2C $\longleftrightarrow$ USB. При цьому функції керування процесом вимірювання і обробки інформації перекладені на персональний комп'ютер (ПК), який повинен бути підключений до AD5933/34EB через порт USB. Тому Analog Devices комплектує ці вироби відповідним програмним забезпеченням.

Таким чином, AD5933/34EB являють собою по суті засоби підтримки процесу проектування (Evaluation Board) реальних приладів для конкретних застосувань. Однак в роботах [5,6] прак-

тично доведено, що AD5933/34EB можна в якості готового пристрою цілком успішно застосувати для неруйнівного контролю корозії металевих виробів.

Огляд друкованих та Internet – витоків інформації показує, що на теперішній час реально втілених альтернативних технічних рішень в галузі імпедансометрії, які б задовольняли всім визначеним вище умовам, окрім AD5934/33 та AD5933/34EB немає. Треба зауважити, що тут йдеться про компоненти і вироби, які серійно випускаються світовою промисловістю у вигляді мікросхем або закінчених функціональних вузлів. Тому пристрої на основі AD5934/33 привертають увагу розробників.

В роботі [7] опубліковано результати розробки 6-діапазонного вимірювача імпедансу загального призначення, доведені до рівня схеми принципіальної електричної. Функції керування вимірюванням і обміном виконує мікроконтролер ATMEGA8-16AU. Функціонально вимірювач більш потужний, ніж AD5933/34EB тому, що має подвійний інтерфейс з ПК: через порт USB або через COM-порт DB9. Ця розробка ідеологічно тотожна виробу AD5933/34EB в сенсі розподілу функцій між мікро контролером і ПК.

Комп'ютерна система імпедансної спектроскопії на основі перетворювача AD5933 описана в роботі [9]. Основу її становить самокомпенсаційний 5-діапазонний вимірювальний пристрій із п'ятизатискною чотирипровідною схемою підключення досліджуваного імпедансу. Корисною відмінністю цієї розробки є схемотехнічні рішення щодо проблеми дестабілізуючого впливу комутаційних елементів і кабелю, за допомогою якого об'єкт вимірювання (наприклад, сенсор) віддалено з'єднується з пристроєм. На жаль автори навели в статті тільки структурну схему пристрою і не надали експериментальних доказів ефективності запропонованих рішень. Цікаво, що в оригінальній документації на AD5933/34 та AD5933/34EB [1,2] не розглядається взагалі.

Інші публікації, наприклад [8] корисні для розуміння принципів вимірювальних перетворень покладених в основу AD5933/34, але носять більший мірі теоретичний характер.

Таким чином, у розпорядженні розробника вимірювача імпедансу на основі AD5933/34 є тільки декларовані в [1] відповідні технічні характеристики і нечисленні експериментальні данні щодо

реальної поведінки таких вимірювачів. Виключенням є робота [3], в якій такі данні наведені.

Тому в мету цієї роботи було отримання експериментальних даних, які б дозволили визначити реальні особливості вимірювальних перетворювань в мікросхемах AD5933/34 на спеціально розробленому для цього макеті вимірювача імпедансу.

Розробка та випробування прототипу вимірювача імпедансу. З урахуванням мети роботи (тільки експериментальні дослідження мікросхем AD5933/34) ми взагалі відмовилися від використання мікроконтролеру загального призначення, повністю переклавши його функції на ПК, тобто запис інформації в реєстри управління, обробка даних, які формуються у вихідних реєстрах AD5933/34, а також усереднення отриманих даних та всі інші функції виконуються виключно на стаціонарному ПК і під його керуванням. На відміну від розробки М. Єршова [6], зв'язок ПК з AD5933/34 здійснюється через порт LPT в режимі ECP/EEP за допомогою спеціалізованого контролера шини I2C – мікросхеми PCF8584 [3], яка забезпечує стик I2C $\longleftrightarrow$ LPT. Таке рішення суттєво спрощує апаратну частину макетного вимірювача. PCF8584 виконує усі функції по перетворенню паралельного коду даних і керуючих сигналів інтерфейсу Centronics порта LPT у послідовні пакети даних на шині I2C, а саме: генерацію станів START і STOP, відправлення та прийом даних, спостереження за коректністю передачі пакетів. Використання LPT дозволило також спростити відповідну частину програмного забезпечення макету. Схема принципова електрична показана на рис.1. Фізично макет виконано на одній платі.

Окрім AD5933/34 та PCF8584, на платі розміщені допоміжні мікросхеми:

- генератор тактових імпульсів 12 МГц, призначений для синхронізації PCF8584;

- генератор тактових імпульсів 16 МГц із можливістю підстроювання частоти призначений для синхронізації AD5934 (у разі AD5933 може використовуватися внутрішній генератор);

- додатковий операційний підсилювач AD8531 для вимірювання імпедансів від 1 кОм і нижче.

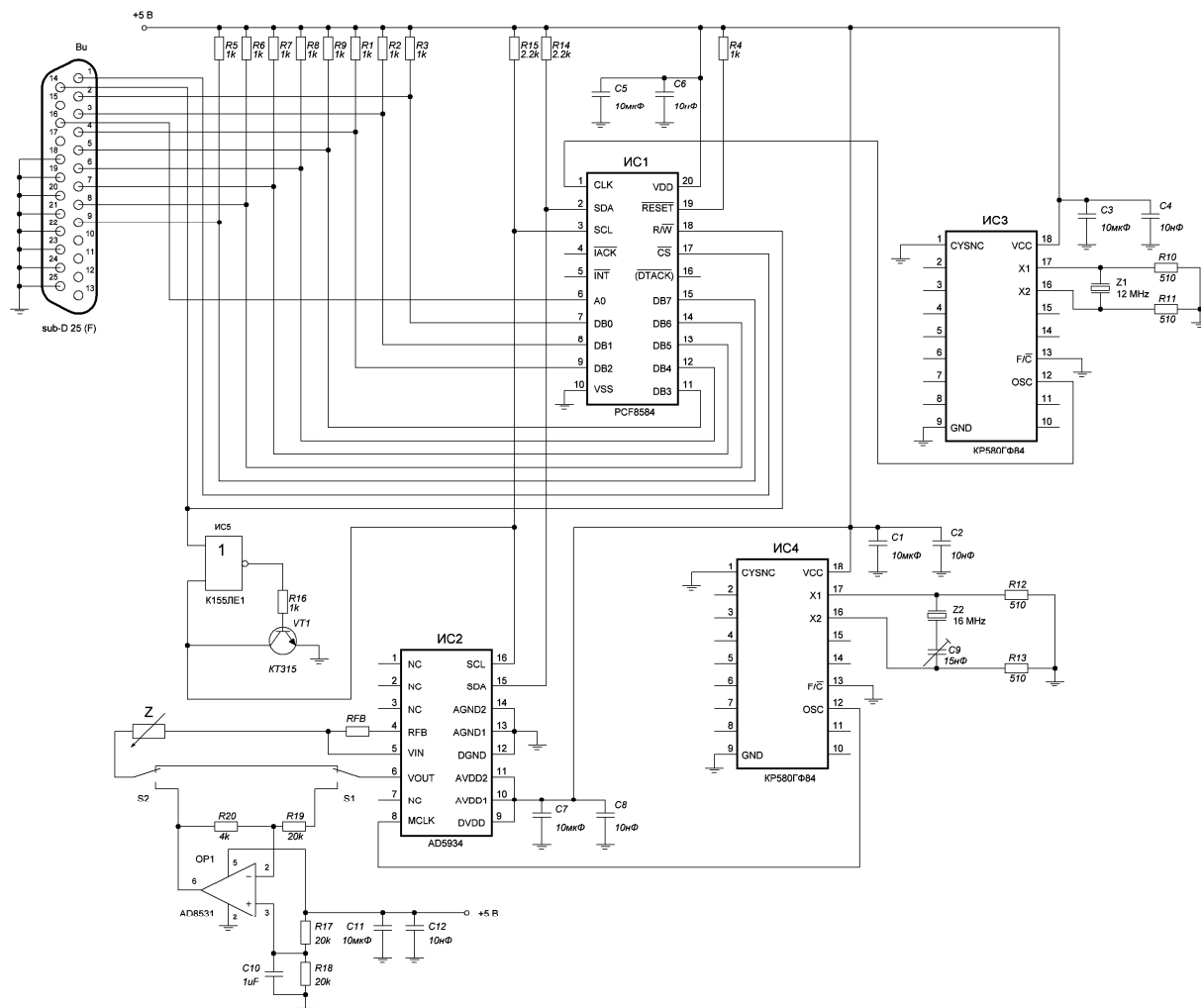


Рисунок 1 – Прототип вимірювача імпедансів для проведення експериментальних досліджень. Схема принципова електрична

Генератори тактових імпульсів виконані на мікросхемах КР580ГФ84. Для стабілізації частоти використовуються кварцові резонатори на 12 і 16 МГц.

Після ініціалізації мікросхеми PCF8584 через порт LPT, починається ініціалізація та встановлення параметрів перетворювача імпедансу AD5934 через шину I2C. Частота імпульсів на лінії SCL шини I2C дорівнює 1,5 кГц. Вона вибрана мінімально можливою з тих, що підтримуються контролером PCF8584 (з міркувань кращої завадостійкості). Таким чином, необхідний для передачі або прийому одного пакету даних (1 байт даних + 1 біт підтвердження) по шині I2C складає 6 мс. В контексті поставленої в роботі задачі цього цілком достатньо. В процесі розробки прототипу контроль вірності передачі даних через шину I2C здійснювався серійним приладом - аналізатором рівнів LOGIC-U.

Для автоматизації процесу вимірювання та керування мікросхемами AD5934/33 було розроблено відповідне програмне забезпечення. Програмування було виконано в середовищі MS Visual Studio 2005, мовою C++. Розроблена програма дозволяє керувати вимірюванням імпедансу з заданими параметрами, такими, як частота сигналу збудження, час очікування (затримка) перед вимірюванням, напруга сигналу збудження, коефіцієнт підсилення (PGA) вбудованого в AD5934/33 програмованого операційного підсилювача напруги збудження, кількість повторів вимірювань на заданій частоті або на кожній точці визначеного діапазону частот (з метою статистичного усереднення). Програма здійснює читання вмісту будь-якого з регістрів AD5934/33, які мають визначені згідно [1] адреси та запис в ці регістри потрібної інформації. Програма розрахована на роботу в ОС MS Windows XP SP2/SP3. Для роботи програми потрібен встановлений пакет NET Framework 2.0. Інтерфейс користувача виглядає, як показано на рис. 2, де з міркувань економії місця наведено вигляд тільки однієї вкладки вікна програми з чотирьох.

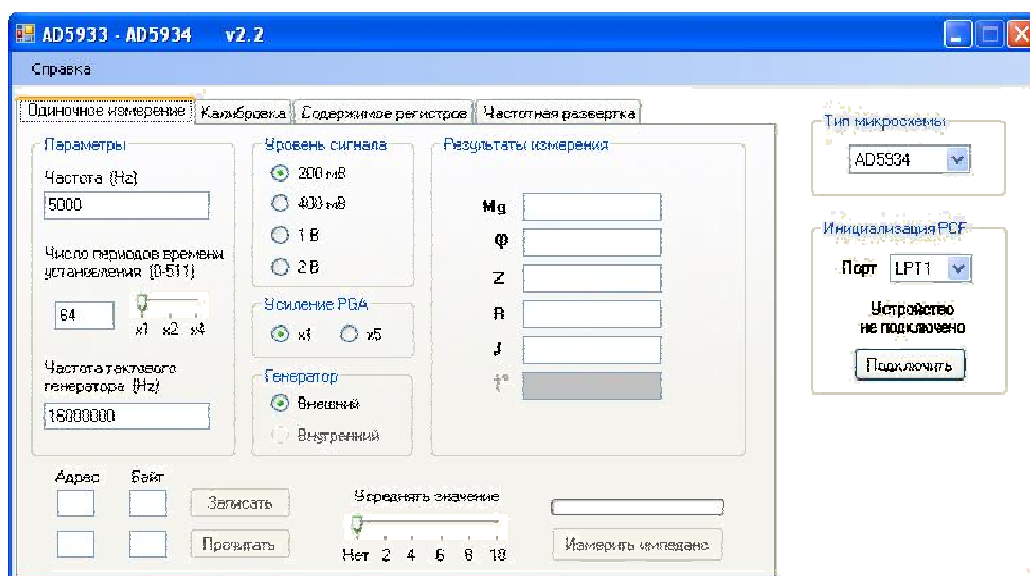


Рисунок 2 – Інтерфейс користувача програми керування вимірюванням імпедансу та обробки результатів вимірювань

Експериментальні результати і обговорення. Для дослідження вимірювальних можливостей мікросхеми AD5934 ми використовували безіндуктивні резистори R_x , опір яких попередньо визначався за допомогою цифрового вольтметра ВЗ-23 з блоком вимірювання опору

з точністю не менше 4 десяткових розрядів. Тобто, ВЗ-23 використовувався як еталонний вимірювач.

Експерименти на прототипі проводилися на частоті 5 кГц, при різних значеннях опору резистору зворотного зв'язку R_{fb} та різних напругах на виході збудження V_{out} (контакт 6 AD5934/AD5933). Для підвищення достовірності результату вимірювання значення опору R_x проводилося усереднення по 3 вимірюванням. Обчислення R_x згідно [1] повинні виконуватися за формулами

$$R_x = 1 / (GF \cdot M_x), \quad GF = 1 / (R_{cal} \cdot M_{cal}),$$

де R_{cal} – значення опору калібровочного резистору; GF – коефіцієнт передачі вимірювальної системи (gain factor); M_{cal} та M_x відповідні значення магнітуд.

Ми, однак, виконували розрахунки за однією формулою

$$R_x = R_{cal} \cdot \frac{M_{cal}}{M_x},$$

що елементарно отримали з двох наведених. Вона більш адекватна фізичному сенсу вимірювальних перетворень в AD5934/AD5933, який відображається співвідношенням $R_x \cdot M_x = R_{cal} \cdot M_{cal}$. В обчислювальному сенсі вона також вигідніша тим, що в реальних умовах M_x та M_{cal} – величини практично однопорядкові, так що $(M_x / M_{cal}) \sim 1$. На відміну від цього при прямому використанні рекомендованих в документації формул ми будемо мати наступне. Скористуємося даними, наведеними в [1]. Так, при $R_{cal} = 200 \text{ кОм} = 200 \cdot 10^3 = 2 \cdot 10^5$, частоті калібровки 30 кГц, коефіцієнті підсилення вихідного каскаду $PGA = " \cdot 1 "$, величина $M_{cal} = 9692 \approx 10^4$. Тому величина $R_{cal} \cdot M_{cal}$ становитиме: $2 \cdot 10^5 \cdot 10^4 \approx 2 \cdot 10^9$. Отже, для отримання GF потрібно буде виконати таке ділення 1 на число $\sim 10^9$ і результат, тобто GF , буде числом $\sim 10^{-9}$. Тепер, при обчисленні R_x величина якого одного порядку R_{cal} (а саме це, як показали проведені в роботі досліди, є необхідною умовою досягнення декларованої точності AD5934/AD5933 – про це див. нижче) ми зіткнемося з необхідністю виконати ділення 1 на число $\sim 10^4 \cdot 10^{-9}$, тобто $\sim 10^{-5}$. Обидва таких обчислення програмно складніше реалізуються і можуть привести до втрати обчислювальної точності, якщо вони будуть здійснюватися в умовах малої розрядності машинного слова, що характерно для мікроконтролерів.

При всіх вимірюваннях в якості показника якості вимірювальних перетворень ми використовували значення відносної похибки

$$\Delta = \frac{(R_x - R_x)}{R_x} \times 100\% ,$$

де: R_x – значення опору, отримане на прототипі; R_x – значення, опору, отримане вимірюванням на цифровому мості ВЗ-23 (яке приймалося за істинне).

Нижче наведені значення $\Delta\%$, отримані при різних калібрувальних резисторах (табл. 1). Умови вимірювання: частота $f = 5$ кГц; $PGA = "Ч 1"$, напруга збудження $U_{out} = 2$ В, опір резистору зворотнього зв'язку $R_{fb} = 200$ кОм. Ці данні показують, як залежить Δ від вибору калібрувального резистору R_{cal} . Легко побачити, що значення Δ мають явно стохастичний характер. Також відмітимо, що значення середнього відхилення Δ ($\approx 0,240$) та стандартного відхилення ($\approx 0,306$), практично не залежать від вибору опору калібрувального резистора R_{cal} .

Таблиця 1

Відносна похибка Δ отриманих значень опору резисторів, що вимірювалися, в залежності від опору калібрувальних резисторів

		Опір калібрувального резистору R_{cal} , кОм					
		160,3	179,8	222,4	251,9	274,9	292,6
Опір резистору, який вимірювався R_x , кОм	160,3	0,00	0,17	0,31	0,09	-0,01	0,38
	179,8	-0,17	0,00	0,14	-0,08	-0,18	0,21
	222,4	-0,31	-0,14	0,00	-0,22	-0,32	0,07
	251,9	-0,09	0,08	0,22	0,00	-0,10	0,29
	274,9	0,01	0,18	0,32	0,10	0,00	0,39
	292,6	-0,38	-0,21	-0,07	-0,29	-0,39	0,00
	387,1	-0,25	-0,08	0,06	-0,16	-0,26	0,13
	462,9	0,39	0,56	0,70	0,49	0,38	0,77
	475,8	-0,43	-0,26	-0,12	-0,34	-0,44	-0,05
	581,3	0,52	0,69	0,83	0,61	0,51	0,90
	740,8	-0,18	-0,01	0,13	-0,09	-0,19	0,20
	802,2	0,04	0,20	0,34	0,13	0,02	0,42
	932,0	0,39	0,56	0,70	0,48	0,38	0,77
Середнє відхилення		0,241	0,241	0,241	0,241	0,241	0,240
Стандартне відхилен.		0,307	0,306	0,306	0,306	0,307	0,306

Таблиця 1 (продовження)

		Опір калібрувального резистору R_{cal} , кОм						
		387,1	462,9	475,8	581,3	740,8	802,2	932
Опір резистору, який вимірювався R_x , кОм	160,3	0,25	-0,40	0,43	-0,53	0,18	-0,04	-0,39
	179,8	0,08	-0,56	0,26	-0,69	0,01	-0,20	-0,56
	222,4	-0,06	-0,71	0,12	-0,84	-0,13	-0,35	-0,70
	251,9	0,16	-0,49	0,34	-0,62	0,09	-0,13	-0,49
	274,9	0,26	-0,38	0,44	-0,51	0,19	-0,02	-0,38
	292,6	-0,13	-0,78	0,05	-0,91	-0,20	-0,42	-0,78
	387,1	0,00	-0,65	0,18	-0,78	-0,07	-0,29	-0,64
	462,9	0,64	0,00	0,82	-0,13	0,58	0,36	0,00
	475,8	-0,18	-0,83	0,00	-0,96	-0,25	-0,47	-0,83
	581,3	0,77	0,13	0,95	0,00	0,70	0,49	0,13
	740,8	0,07	-0,58	0,25	-0,71	0,00	-0,22	-0,58
	802,2	0,29	-0,36	0,47	-0,49	0,22	0,00	-0,36
	932,0	0,64	0,00	0,82	-0,13	0,57	0,36	0,00
Середнє відхилення:		0,241	0,242	0,240	0,243	0,241	0,241	0,242
Стандартне відхилен.:		0,308	0,306	0,308	0,305	0,308	0,306	0,307

В таблиці наведені тільки ті данні, які не перевищують межі 1%. Експерименти по вимірюванню опору проводилися і поза межами діапазону 160 ... 932 кОм. Усі отримані при цьому результати досить швидко перевищували межу 1%.

З таблиці видно, що ця властивість зберігається в межах широкого діапазону значень опору резисторів, які вимірюються, а саме: $932,0 - 160,3 \approx 772$ кОм. Якщо припустити, що початковий опір об'єкту, який контролюється, скажімо, кондуктометричного сенсору, становить $160 + (772/2) \approx 546$ кОм (тобто знаходиться в середині вказаного діапазону, то в процесі контролю його опір може змінюватися в межах до $\pm 70\%$ і при цьому відносна похибка вимірювань опору Δ буде $\leq 1\%$.

В області високих значень опору, картина похибок характеризується такими даними (табл. 2).

Відносна похибка Δ отриманих значень опору резисторів, що вимірювалися, в залежності від опору калібрувальних резисторів

		Опір калібрувального резистору R_{cal} , МОм						
		0,7408	0,8022	0,932	1,239	1,304	1,802	1,943
Опір резистору, який вимірюється	0,7408	0,00	0,01	-0,35	-0,51	-0,57	-1,11	-1,32
	0,8022	-0,01	0,00	-0,36	-0,51	-0,58	-1,12	-1,33
	0,9320	0,35	0,36	0,00	-0,16	-0,22	-0,76	-0,97
	1,239	0,50	0,51	0,16	0,00	-0,06	-0,61	-0,81
	1,304	0,57	0,57	0,22	0,06	0,00	-0,54	-0,75
	1,802	1,10	1,11	0,76	0,60	0,54	0,00	-0,21
	1,943	1,31	1,31	0,96	0,81	0,74	0,21	0,00
	2,412	1,60	1,61	1,26	1,10	1,04	0,50	0,30
Середнє відхилення:		0,229	0,229	0,384	0,384	0,385	0,436	0,437
Стандартне відхилення:		0,273	0,273	0,274	0,274	0,274	0,276	0,276

Виходячи з вищесказаного, легко оцінити наведені данні без додаткових коментарів.

Крім цього, були проведені дослідження особливостей вимірювання малих значень опору. Такими згідно специфікаціям документації на AD5934/AD5933 [1], вважаються значення опору ≤ 500 Ом. Нас цікавило також і те, який найменший опір можна реально вимірювати за допомогою AD5934/AD5933. При проведенні дослідів використовувався додатковий операційний підсилювач AD8531 з коефіцієнтом передачі $= 0,2$. При усіх вимірюваннях обчислювалася напруга (подвійний розмах), яка утворювалася на вході АЦП після перетворювача "струм – напруга" за формулою [3]:

$$U_{adc} = PGA \times U_{out} \times 0,2 \times (R_{fb} / R_x),$$

де усі позначення такі ж як і вище.

Результати, отримані при опорах зворотнього зв'язку R_{fb} надані нижче: при $R_{fb} = 1000$ Ом (табл. 3), і при $R_{fb} = 130$ Ом (табл. 4). Частота вимірювання – 5 кГц, $PGA = "Ч 1"$.

Таблиця 3

Залежність відносної похибки Δ від напруги збудження U_{out} при $R_{fb} = 1000$ Ом. Значення U_{out} та U_{adc} у вольтах.

		U_{out}							
		0,2		0,4		1,0		2,0	
		$\Delta, \%$	U_{adc}	$\Delta, \%$	U_{adc}	$\Delta, \%$	U_{adc}	$\Delta, \%$	U_{adc}
Опір резистору, який вимірювався R_x , Ом	185,0	*	0,216	*	0,432	-0,87	1,081	-0,52	2,162
	197,2	*	0,203	*	0,406	-0,74	1,014	-0,40	2,028
	220,6	-6,76	0,181	-0,78	0,363	-0,78	0,907	-0,45	1,813
	988,9	-4,69	0,040	-0,61	0,081	-0,65	0,202	-0,49	0,404
	1574	-3,44	0,025	0,39	0,051	-0,38	0,127	-0,10	0,254
	2496	0,00	0,016	0,00	0,032	0,00	0,080	0,00	0,160
	2918	-4,77	0,014	0,47	0,027	-0,33	0,069	-0,06	0,137
	3585	-2,98	0,011	0,61	0,022	-0,25	0,056	0,04	0,112
	5180	-0,83	0,008	3,54	0,015	0,55	0,039	-0,11	0,077
	6056	-0,81	0,007	2,66	0,013	0,76	0,033	0,54	0,066
	8218	1,98	0,005	3,09	0,010	0,51	0,024	0,18	0,049
Середнє відхилення:		2,229		0,450		0,426		0,501	
Стандартне відхилення:		2,606		1,534		0,553		0,308	

Примітка: позначка " * " в таблиці означає, що отриманий результат вимірювання був недостовірним або взагалі не міг бути обчислений.

Зі співставлення таблиць видно, що середнє і стандартне відхилення відносних похибок Δ суттєво залежить від вибору напруги збудження U_{out} , що тягне за собою, відповідно і U_{adc} , а також від вибору опору зворотного зв'язку R_{fb} . Приймаючи до уваги те, що в загальному в реальних умовах точно обчислити U_{adc} неможливо за відсутністю даних щодо R_x , можна таким чином рекомендувати такий режим вимірювання: $R_{fb} \approx 130$ Ом, $U_{out} = 2$ В (точно -1,98 В згідно [1]).

Важливо, що вдалося виміряти опір 62,67 Ом з майже паспортною точністю (0,5% [1]). Така можливість цінна тим, що у разі використання деяких вихорострумових сенсорів модуль їх імпедансу на допустимих для AD5934/AD5933 частотах ($\leq 120...130$ кГц) може бути достатньо низьким. Звернімо також увагу на дуже великий динамічний діапазон вимірювальних опорів (від ≈ 62 до 3585 Ом), що дуже корисно у разі використання низькоомних кондуктометричних сенсорів.

Таблиця 4

Залежність відносної похибки Δ від напруги збудження U_{out} при $R_{fb} = 130 \text{ Ом}$. Значення U_{out} та U_{adc} у вольтах.

		U_{out}							
		0,2		0,4		1,0		2,0	
		$\Delta, \%$	U_{adc}	$\Delta, \%$	U_{adc}	$\Delta, \%$	U_{adc}	$\Delta, \%$	U_{adc}
Опір резистору, який вимірювався R_x , Ом	62,67	-1,46	0,064	-0,93	0,128	-0,73	0,319	-0,67	0,638
	77,39	-0,78	0,052	-0,34	0,103	-0,17	0,258	-0,17	0,517
	89,63	-0,89	0,045	-0,29	0,089	-0,24	0,223	-0,23	0,446
	131,3	0,00	0,030	0,00	0,061	0,00	0,152	0,00	0,305
	143,7	-0,80	0,028	-0,54	0,056	-0,36	0,139	-0,39	0,278
	161,6	-0,83	0,025	-0,19	0,050	-0,54	0,124	-0,19	0,025
	185,0	-0,16	0,022	0,38	0,043	0,29	0,108	0,13	0,216
	197,2	0,13	0,020	0,45	0,020	0,29	0,101	0,08	0,203
	220,6	0,31	0,018	0,18	0,018	0,41	0,091	0,19	0,181
	988,9	4,92	0,004	1,24	0,004	0,95	0,020	0,30	0,040
	1574	3,68	0,003	-0,91	0,003	1,05	0,013	0,82	0,025
	2496	7,09	0,002	9,19	0,002	1,49	0,008	0,63	0,016
	2918	16,83	0,001	4,84	0,001	-0,33	0,007	0,94	0,014
	3585	-7,51	0,001	8,51	0,001	0,36	0,006	0,61	0,011
Середнє відхилення:		3,807		2,559		0,516		0,371	
Стандартне відхилення:		5,362		3,286		0,623		0,453	

Висновки. Розробка і випробування прототипу низькочастотного вимірювача імпедансів показує, що мікросхеми AD5934/AD5933 надають реальну можливість побудування дешевих і точних контрольно-вимірювальних приладів з відмінними малогабаритними характеристиками.

Розроблений прототип може використовуватися в лабораторній науково-дослідній практиці як альтернатива коштовним виробам AD5934EB та AD5933EB з такою ж функціональністю (на час написання статті їх ринкова ціна $\geq \$150$; наш прототип обійшовся менш ніж $\$30$).

Отримані результати можуть служити орієнтиром при оптимізації параметрів вимірювальних перетворень розробниками конкретних практичних приладів.

Технічні рішення на основі AD5934/AD5933 мають ряд обмежень. Головні – це обмеження знизу діапазону опорів, який ми оцінюємо як $\approx 50 \text{ Ом}$ і невелика верхня робоча частота. Це обмежує вимірювання імпедансу вихорострумових сенсорів без феритових або металевих стрижнів, які використовуються для контролю виробів зі

слабопровідних (напівпровідних) матеріалів. Умови контролю у вказаних випадках часто потребують вимірювань на частотах порядку 10 - 100 МГц і навіть значно вище. В данному контексті нам уявляються перспективними розробки по реалізації традиційних резонансних методів і приладів на базі сучасних цифрових технологій (зокрема цифрового синтезу частот – DDS, цифрового фазового детектування і т.п.) [10].

ЛІТЕРАТУРА

1. AD5934: 250 kSPS, 12-Bit Impedance Converter - Network Analyzer. http://www.analog.com/UploadedFiles/Data_Sheets/AD5934.pdf
2. Evaluation Board for the 250 kSPS 12-Bit Impedance Converter - Network Analyzer. [http://www.analog.com/static/imported-files/eval_boards/3221601 EVAL_AD5934EB.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/eval_boards/3221601_EVAL_AD5934EB.pdf)
3. Jerzy Hoja, Grzegorz Lentka. PORTABLE ANALYZER FOR IMPEDANCE SPECTROSCOPY. //XIX IMEKO World Congress. Fundamental and Applied Metrology. September 6–11, 2009.
4. PCF8584, I²C-bus controller. Product specification. http://www.nxp.com/docu-ments/data_sheet/PCF8584.pdf
5. Seunghee Park, Benjamin L. Grisso, Daniel J. Inman, Chung-Bang Yun. MFC-based structural health monitoring using a miniaturized impedance measuring // Research in Nondestructive Evaluation, 18(2007), P. 139–150
6. Seunghee Park, Chung-Bang Yun, Daniel J. Inman. Wireless Structural Health Monitoring Using an Active Sensing Node // Steel Structures 6 (2006) P. 361-368
7. Ершов М. Реализация измерителя импеданса на основе дискретного преобразования Фурье // Схемотехника, 2007, № 3 С. 6–10; № 4, С. 10–14
8. Образцов С., Троицкий Ю. Прецизионный конвертор импеданса AD5933 // Современная электроника, 2009, № 9, с.12-15
9. Совин Я.Р., Хома В.В. Комп'ютерна система імпедансної спектроскопії на основі перетворювача AD5933. // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія "Автоматика, вимірювання та керування". - № 608, 2008.
10. Хандецкий В.С., Сивцов Д.П. Использование прямого цифрового синтеза частот и фазового детектирования в приборах вихретокового и электроемкостного неразрушающего контроля // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 5(64).- Днепропетровск, 2009, с.115-126.

Отримано 12.01.2011р.

А.М. Ахметшин, А.А. Степаненко

СЕГМЕНТАЦИЯ СЛАБОКОНТРАСТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОГО ХАРТЛИ–ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТЕЙ

Аннотация. Предложен новый метод многопараметровой обработки слабоконтрастных изображений, направленный на обеспечение повышения чувствительности и устойчивости выделения визуально неразличимых участков потенциального интереса.

Ключевые слова: слабоконтрастные изображения, преобразование Хартли, чувствительность, сегментация, многопараметровый анализ.

Постановка проблемы. Одной из актуальных и наиболее сложных проблем в области компьютерного зрения, является анализ слабоконтрастных изображений с визуально неразличимыми участками (объектами) потенциального интереса [1]. Сложность решения этой проблемы обусловлена взаимодействием трех основных факторов:

- как правило, ничего не известно о числе, форме, размерах и местоположении объектов потенциального интереса;
- не известны статистические и спектральные характеристики фонового распределения яркостей;
- не известны характеристики системы формирования анализируемого изображения.

Все это диктует необходимость использования нескольких различных методов, для повышения надежности и достоверности анализа подобных изображений [2].

В работе [3] был предложен метод резонансно–пространственного отображения (МРПО), обеспечивающий высокую чувствительность сегментации слабоконтрастных участков и стабильность к влиянию фоновых помех.

Суть МРПО базируется на следующих предположениях:

- используется скользящая рамка размером $(L * L)$ вдоль апертуры анализируемого изображения;

– яркостные отсчеты " b_i " рассматриваются в виде коэффициентов виртуального цифрового рекурсивного фильтра с системной функцией вида

$$H_{(x,y)}(z) = \frac{1}{1 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_N z^{-N}}, \quad (1)$$

где z^{-i} – оператор z – преобразования;

– системная функция цифрового фильтра $H(z)$ характеризуется его амплитудно–частотной $|H_{(x,y)}(f)|$ (АЧХ) и фазо–частотной $\Psi_{(x,y)}(f)$ (ФЧХ) характеристиками, вычисляемыми для 256 частот, по числу градаций серого на экране монитора ПК;

– синтезируются два новых изображения, соответствующих частоте и амплитуде максимума $|H_{(x,y)}(f)|$.

Например, если в окрестности точки (x, y) распределение яркостей имеет вид $b_i = [0.50 \ 0.60 \ 0.30 \ 0.40 \ 0.51 \ 0.57 \ 0.33 \ 0.29 \ 0.31]$, то АЧХ и ФЧХ виртуального фильтра имеют вид (рис.1).

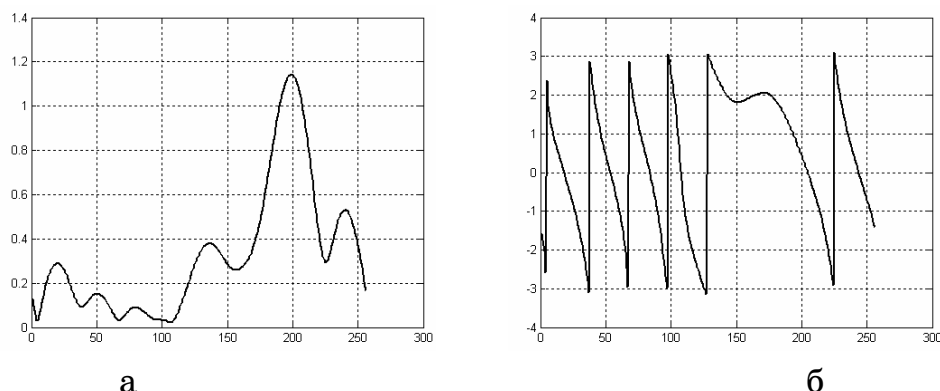


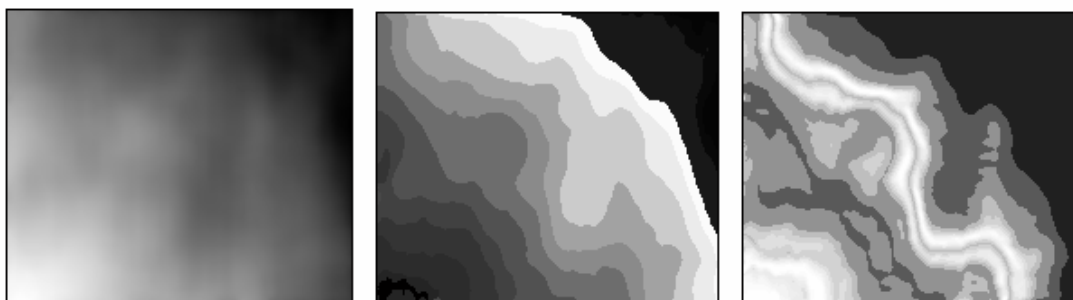
Рисунок 1 - АЧХ (а) и ФЧХ (б) виртуального цифрового фильтра с коэффициентами b_i

На рис. 2 представлены результаты МРПО применительно к анализу изображения гравитационного поля участка Земной поверхности.

Рассмотрение рис. 2 позволяет заключить, что МРПО позволил сегментировать несколько потенциально аномальных участков, неразличимых на исходном изображении.

Однако, рассмотренному варианту МРПО присущ тот недостаток, что синтез производится лишь на основе АЧХ фильтра $|H_{(x,y)}(f)|$, т.е. фазо-частотная характеристика $\Psi_{(x,y)}(f)$ не используется, что не

позволяет реализовать полностью весь информационный потенциал МРПО. Последнее обусловлено тем обстоятельством, что, как это видно из рассмотрения рис. 1 б, ФЧХ имеет разрывный характер в пределах $[\pi \div -\pi]$, а это не позволяет выделить на ней экстремальные точки.



а

б

в

Рисунок 2 - Сегментация изображения гравитационного поля на основе МРПО:

а – оригинал; б – частота $\max|H(f)|$; в – амплитуда $\max|H(f)|$

Целью работы является развитие информационных возможностей МРПО слабоконтрастных изображений на основе дополнительного использования фазовой информации, заложенной в системной характеристике виртуального цифрового фильтра $H(z)$.

Основная часть. Для решения «фазовой проблемы» использования известного варианта МРПО необходимо найти такое преобразование вектора « b », которое бы обеспечивало его трансформацию к непрерывной функции, с информативной точки зрения сочетающей основные особенности, свойственные АЧХ и ФЧХ и преобразования Фурье $V(f)$ произвольной функции $v(x)$

$$V(f) = |V(f)|e^{j\Phi(f)} = \int_{-\infty}^{\infty} v(x)e^{-j2\pi fx} dx. \quad (2)$$

С математической точки зрения преобразование Фурье обеспечивает переход от функции действительной переменной, к функции комплексной переменной.

В 1942 г. было введено преобразование Хартли (ПХ), имеющее вид [4]

$$\Omega(f) = \int_{-\infty}^{\infty} v(x)\cos 2\pi f x dx; \quad v(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \Omega(f)\cos 2\pi f x df, \quad (3)$$

где

$$\cos 2\pi f x = \cos 2\pi f x + \sin 2\pi f x. \quad (4)$$

В (3) $\Omega(f)$ рассматривается как прямое преобразование Хартли (ППХ), а $v(x)$ – как обратное преобразование Хартли (ОПХ).

Из сопоставления (2) и (3) вытекает отсутствие существенных отличий (с математической точки зрения) преобразования Хартли от преобразования Фурье.

Однако, с практической точки зрения, эти отличия являются весьма существенными.

1. Функция $\Omega(f)$ является вещественной, в отличие от комплексной функции $V(f)$.

2. Обратное преобразование Хартли требует точно такой же процедуры интегрирования, как и прямое преобразование.

3. ППХ (функция $\Omega(f)$) для всех встречающихся на практике зависимостей $v(x)$ (за исключением, чисто теоретического случая, обобщенных функций) является непрерывным и знакопеременным (рис. 3).

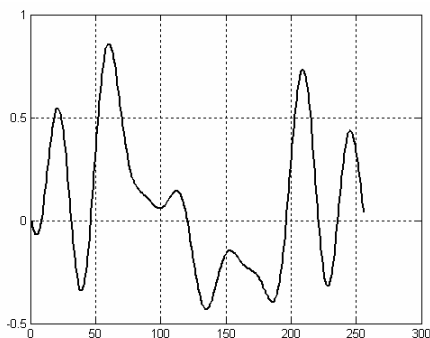


Рисунок 3 - Преобразование Хартли для данных, представленных на рис.1

4. В зависимости $\Omega(f)$ заложена информация об особенностях как АЧХ, так и ФЧХ характеристик виртуального цифрового фильтра $H(z)$.

Из последнего следует, что реализация МРПО возможна на основе отображения параметров резонансных точек (max–min) зависимости $\Omega(f)$, что увеличивает пространство информативных признаков в два раза, по сравнению с известным вариантом МРПО.

На рис. 4 представлены характеристики Хартли отображения для изображения гравитационного поля на рис. 2 а.

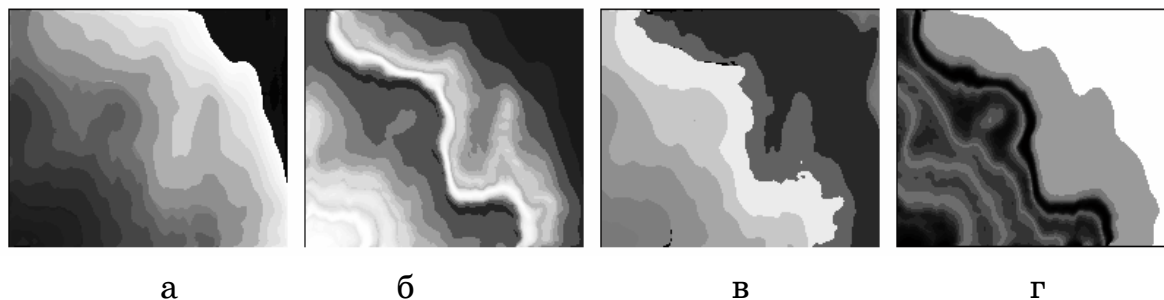


Рисунок 4 - Характеристики Хартли-отображения для изображения гравитационного поля: а – $\Omega(f_{\max})$; б – $|\Omega(f_{\max})|$; в – $\Omega(f_{\min})$; г – $|\Omega(f_{\min})|$

Из сопоставления рис. 2 с результатами представленными на рис. 4 следует, что новый метод позволяет выделить ряд деталей (рис. 4 г) невидимых на рис. 2. Последнее свидетельствует о более высокой чувствительности предложенного метода, поскольку здесь учитывается фазовая информация.

На рис. 5 а представлено медицинское радиологическое изображение, представляющее собой классический вариант слабоконтрастного изображения (где расположена область потенциального интереса?).

На рис. 5 представлены характеристики Хартли отображения, соответствующие максимумам зависимости $\Omega(f)$.

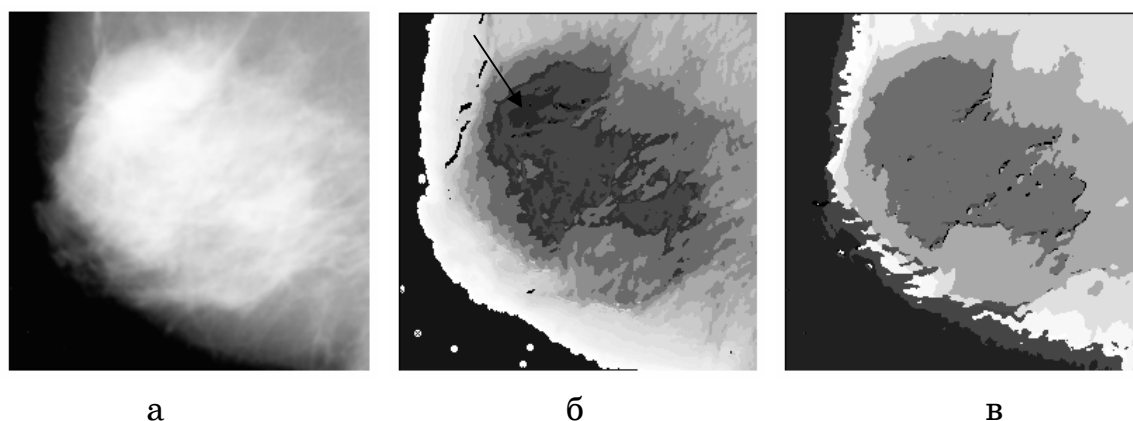


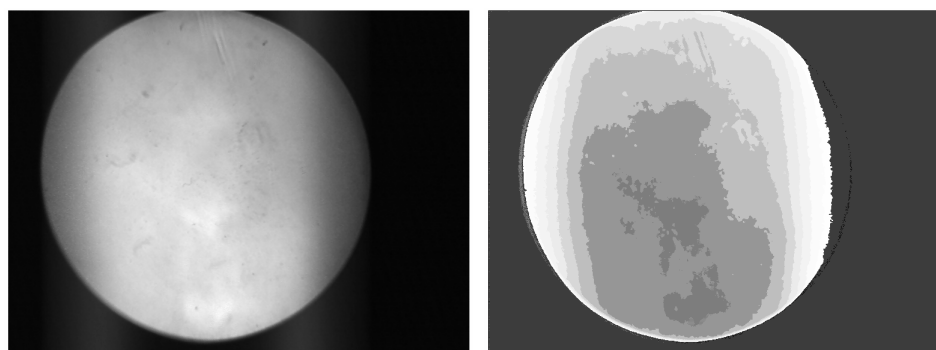
Рисунок 5 - Медицинское радиологическое изображение:

а – оригинал; б – $\Omega(f_{\max})$; в – $|\Omega(f_{\max})|$

На рис. 5 в сегментировалась область потенциального интереса, а на рис. 5 б выделилась более детализованная область (указана стрелкой).

На рис. 6 а представлен образец инфракрасного изображения, характеризующего турбулентность сверхзвукового воздушного потока

протекающего между двумя близко расположенными алюминиевыми панелями.



а

б

Рисунок 6 - Инфракрасное изображение воздушного потока:

а – оригинал; б – $\Omega(f_{\max})$

Из рассмотрения рис. 6 б видно, что Хартли отображение соответствующее частоте максимума зависимости $\Omega(f)$ позволило сегментировать две области возможного турбулентного срыва течения воздушного потока.

Выводы.

1. Использование интегрального преобразования Хартли позволяет повысить информативность, чувствительность и достоверность процедуры сегментации слабоконтрастных изображений различной физической природы в рамках общей методологии МРПО.

2. Повышение информативных возможностей МРПО на основе использования интегрально отображения Хартли пространственного распределения яркостей анализируемого изображения основывается на том факте, что характеристика $\Omega(f)$ аккумулирует все особенности, присущие АЧХ и ФЧХ преобразования Фурье, при этом являясь действительной и непрерывной, что позволяет использовать не только параметры максимума (резонанс) функции $\Omega(f)$, но и параметры минимума (антирезонанс) функции $\Omega(f)$.

3. Предложенный вариант повышения информационных возможностей МРПО имеет значительный потенциал его дальнейшего развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение: современный подход / Форсайт Д., Понс Ж.; [пер. с англ. А.В. Назаренко, И.Ю. Дорошенко]. – М.: Вильямс, 2004. – 926 с.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р.; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
3. Ахметшин А.М. Повышение чувствительности анализа низкоконтрастных изображений на основе метода резонансно-пространственного отображения / Ахметшин А.М., Ахметшина Л.Г. // Вестник ХГТУ. 2003. – №19.– С. 14- 17.
4. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли / Брейсуэлл Р.; [пер. с англ. А.И. Папкина]. – М.: Мир, 1990. – 173 с.

Получено 16.01.2011г.

Л.Г. Ахметшина, Т.С. Ямнич

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ ДВУМЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЧЕТКИХ КЛАСТЕРОВ

Аннотация Рассмотрены информационные возможности метода нечеткой интерполяции пространственных данных, заданных на неравномерной сетке.

Ключевые слова: пространственные данные, интерполяция, неравномерная сетка, нечеткие модели, кластеризация, функция принадлежности.

Постановка проблемы. Точность моделирования реальных систем на основе экспериментальных данных существенно зависит от их пространственного распределения. Наилучшие результаты можно получить, если они определены на равномерной сетке. Однако, во многих практических случаях, измерения возможны лишь в некоторых точках, которые распределены неравномерно и покрывают область значений не полностью. Вопросам, связанным с обработкой неполной информации в настоящее время уделяется все большее внимание, поскольку полностью определенные задачи уже получили решение с приемлемой на практике точностью. Для создания моделей используются различные алгоритмы интерполяции, суть которых состоит в использовании имеющихся данных для получения прогнозных значений в дополнительных точках [1].

Важной практической областью, требующей использования методов обработки неполной неравномерно распределенной информации, характер которой обусловлен исключительно объективными причинами, являются задачи моделирования и анализа пространственных данных (интерполяция поверхностей, оценка объемов рудных тел и оседания земной поверхности на основе результатов бурения или измерений различных физических характеристик и т. д.). Особенность работы с пространственными данными осложняются необходимостью учета их особенностей, обусловленными свойствами пространственной топологии и корреляции, учет которых требует

применения специфических методов. Наиболее сложной задачей является моделирование подземных поверхностей, для которых отсутствует возможность получения дополнительной экспертной или картографической информации.

В работе [1] демонстрируется возможность использования интерполяции пространственных данных заданных на неравномерной сетке, методом двумерного проецирования нечетких кластеров. Возможность использования нечеткой логики для решения подобных задач была отмечена в [2]. Основное преимущество нечетких моделей, по сравнению с традиционными математическими моделями, связано с возможностью использования для их разработки значительно меньших объемов информации о системе, причем она может носить приближенный характер.

Алгоритм метода включает последовательность следующих действий.

1. Определение центров кластеров $m_1, m_2, \dots, m_c$, неравномерных экспериментальных измерений с применением метода FCM в пространстве признаков $X_1, X_2, \dots, X_n, Y$ (Y – целевой, интерполяция которого производится), вычисляемых итеративно по формуле

$$m_{xl}(t+1) = \frac{\sum_{j=1}^N \mu_{ij}^q(t) \cdot x_{ij}}{\sum_{j=1}^N \mu_{ij}^q(t)}, \quad (1)$$

где $(\forall i \in \{2, \dots, c\})$, c – количество классов; N – число объектов кластеризации, l – количество информативных признаков, причем $x_{n+1} = y$; $q > 1$ – параметр фаззификации.

2. Определение функций принадлежности отдельно для входных и целевого параметров, с использованием проекций $m_i^{x_j}$ центров кластеров на координатное пространство, где $j = 1, \dots, n$, $i = 1, \dots, c$, которые и рассматриваются в качестве «существенных» точек, являющимися центрами функций принадлежности μ_{ij}^X каждого из классов:

$$\mu_{ij}^X(x) = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left[\frac{d_{ij}^X(x)}{d_{kj}^X} \right]^{\frac{2}{q-1}}} = \mu_i^X(x_j), \quad (2)$$

где расстояние между вектором x_i и центром кластера m_i^X определяется только во входном пространстве по формуле:

$$d_{ij}^X(x) = |x - m_i^X| = \sqrt{(x_j - m_i^X)^T A (x_j - m_i^X)} , \quad (3)$$

размерность положительно определенной симметричной матрицы A равна $n \times n$.

3. Вычисление выхода нечеткой модели y на основе вычисленных функций принадлежности к заданным кластерам каждой точки полного координатного пространства интерполируемой поверхности и вычисляется по формуле.

$$y(x_j) = \frac{\sum_{i=1}^c m_i^Y \cdot \mu_i^X(x_j)}{\sum_{i=1}^c \mu_i^X(x_j)} . \quad (4)$$

4. Итеративное уточнение модели – корректировка центров кластеров на основе использования значения ошибки модели.

Целью работы является повышение точности интерполяционной поверхности, формируемой методом двумерного проецирования нечетких кластеров, за счет использования нескольких решений с различным уровнем обобщения.

Центральным элементом при построении нечеткой модели является база правил типа «Если–то», которая содержит основную информацию о поверхности решения. Способ ее формирования определяет адекватность и точность модели, при этом наиболее значимыми являются следующие факторы.

1. Условие каждого нечеткого правила соответствует определенной точке пространства входных значений (определяется п. 1 алгоритма в методе двумерного проецирования нечетких кластеров) и влияет на условие всех правил. Изменение каждого условия приводит к смещению всех опорных точек, таким образом, определяя глобальные характеристики поверхности решения.

2. Изменение заключения правил, определяемое точками пространства выходных значений, приводит к локальному изменению участков поверхности модели, прилегающей к данной точке измерения, и может не оказывать влияния на удаленные участки поверхности решения.

Количество используемых правил с одной стороны, повышает возможность получения высокой точности нечеткой модели, с другой стороны, увеличивает стоимость вычислений и приводит к преобладанию «локальных» тенденций, определяемых каждой точкой измерения. Использование различных модификаций метода нечеткой кластеризации, изменение задаваемых априори количества кластеров, способ предобработки данных (нормализация, масштабирование, формирование нового пространства входных векторов на основе данных измерений и дополнительной, например картографической или экспертной оценки) позволяет влиять на точность модели. В предельном случае, если правила задаются для каждой точки измерения, ошибка модели в них стремится к нулю. В то же время, теоретически, для построения оптимальной поверхности решения, должно выполняться условие разбиения единицы для каждого элемента x_j :

$$\sum_{i=1}^c \mu_i^x(x_j) \equiv 1. \quad (5)$$

Алгоритм FCM обеспечивает выполнение условия (5) только для набора входных значений. Для остальных точек интерполируемой поверхности данное условие нарушается. Это связано с тем, что функции принадлежности имеют бесконечный носитель с большой областью влияния отдельных заключений. Если указанная сумма >1 или <1 , осуществляется формирование более рельефной, или плоской поверхности, соответственно, что и отражается в общей ошибке интерполяции.

Важным фактором, влияющим на поверхность отклика, является параметр фаззификации q , увеличение которого приводит к усилению нечеткости кластеров (увеличение площади под графиком функции принадлежности, и, соответственно, увеличению площади поверхности влияния точки). Кроме этого, при построении модели, следует учитывать вид поверхности, в частности, степень крутизны и характер присутствующих нелинейностей, как в целом по области определения, так и по отдельным областям, ее составляющих.

В данной работе, для повышения точности модели, получаемой с применением метода нечеткого проецирования кластеров, предлагается новый способ формирования результирующей поверхности на основе нескольких решений с различным уровнем обобщения. Использование различного количества кластеров c и различных значе-

ний параметров фаззификации q , для каждого из них, позволяет учесть и сбалансировать глобальные и локальные тенденции присутствующие в данных: выделить общий тренд по направлениям и незначительные пространственно коррелированные поверхностные структуры.

Экспериментальные результаты были проведены для модельных и реальных данных. В качестве модели использовалось гравитационное поле поверхности Земли $Z = f(x, y)$, трехмерное изображение которого приведено на рис. 1 а. Z – нормированное значение, определенное для 57 экспериментальных точек с координатами (x, y) , расположение которых представлено на рис. 1 б. Координаты точек соответствуют скважинам бурения, предназначенным для определения глубины залегания и толщины угольных пластов на шахтном поле шахты «Павлоградская». В данном приложении модель необходима для оценки последствий закрытия шахт – выявления зон затопления, расчета объема грунта для засыпки, оценки ущерба, наносимого горнодобывающими предприятиями.

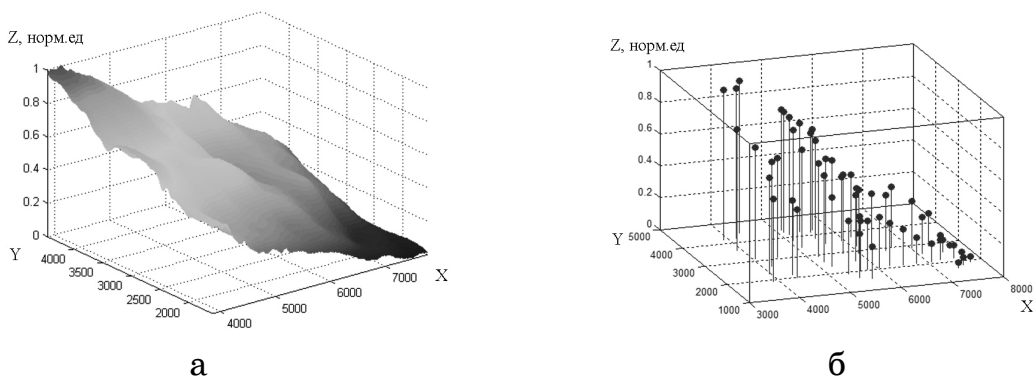


Рисунок 1 - Модельное поле (а) и координаты скважин бурения

На рис. 2 а представлен результат моделирования с применением метода нечеткого проецирования кластеров при значении $c = 37$ и $q = 2$. Поверхность, изображенная на рис. 2 б получена на основе использования трех решений, полученных со значениями параметров кластеризации $c = 8, q = 1.78$; $c = 30, q = 1.85$ и $c = 51, q = 1.95$. Визуальный анализ и оценка ошибки интерполяции свидетельствует о повышении точности получаемого результата.

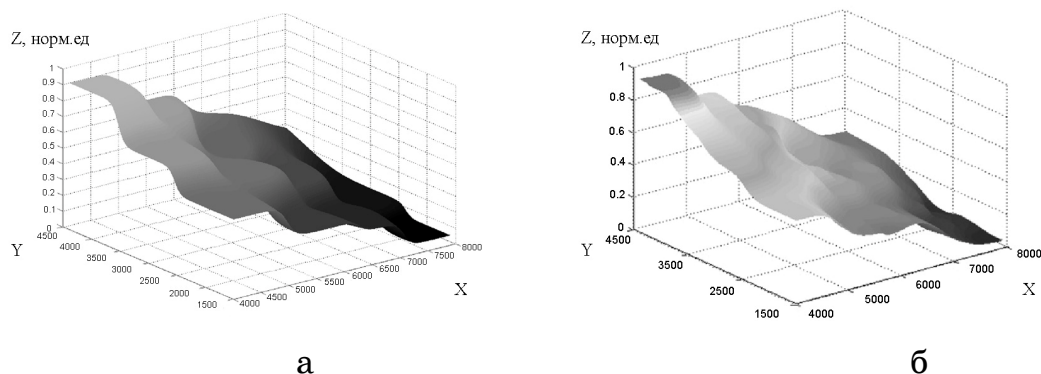


Рисунок 2 - Нечеткая модель: а – $c=37$ и $q=2$; б – комбинированное решение с параметрами $c=8$, $q=1.78$; $c=30$, $q=1.85$ и $c=51$, $q=1.95$

На рис. 3 а представлена интерполяция поверхности трех угольных пластов, полученная с использованием описанного метода, которая позволяет визуально оценить их форму и взаимное расположение. Точность формируемой модели достаточна для решаемой задачи и находится в пределах точности измерения экспериментальных данных (следует отметить, что достаточно хорошим показателем для данной предметной области является точность модели в пределах 0,1 м по вертикальной составляющей).

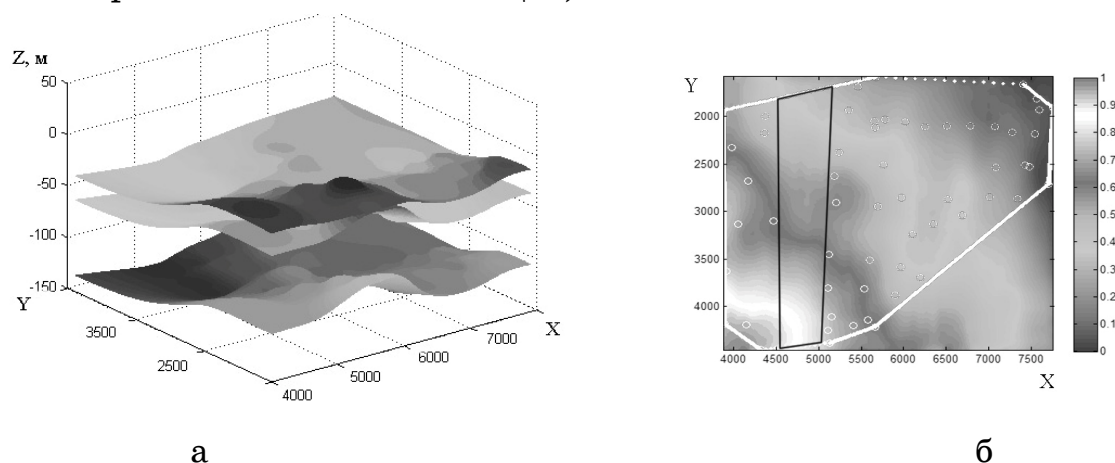


Рисунок 3 - Модель угольных пластов (а) и расположение скважин (б)

Наибольшая погрешность наблюдается в областях, не покрываемых элементами выборки, выделенными на рис. 3 б, отображающего двумерную проекцию модельного поля и расположение экспериментальных точек, белыми линиями – области внешней экстраполяции.

Выводы. В результате анализа экспериментов, проведенных на модельных и реальных данных, сделаны следующие выводы.

1. Комбинирование нескольких поверхностей решения, полученных с использованием метода двумерного проецирования нечетких кластеров с различным уровнем обобщения, повышает точность интерполяции пространственных данных заданных на неравномерной сетке.

2. Наибольшие значения ошибки сосредоточены не только в области пространства, для которых измерения отсутствуют (т.е. достоверность модели не подтверждена и должна решаться задача внешней экстраполяции), но и в области, с «большим» расстоянием между точками измерения (выделена черной линией на рис. 3 б), которую можно определить как область «внутренней экстраполяции».

3. Дальнейшее повышение точности модели требует решения задачи внешней и внутренней экстраполяции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Г. Ахметшина., Т.С. Ямнич. Интерполяция пространственных данных методом двумерного проецирования нечетких кластеров // Искусственный интеллект, –2010. № 3. – С. – 433 –438.
2. А. Пегат. Нечеткое моделирование и управление. – М.: «Бином». 2009, 798 с.

Получено 16.01.2011г.

В.М. Григорьев

СТАБИЛИЗИЯ ЛИНЕЙНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ МНОГОСВЯЗНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. Показано, что необходимым и достаточным условием существования регулятора, обеспечивающего экспоненциальную устойчивость замкнутой линейной нестационарной многосвязной системы, является экспоненциальная устойчивость системы однородных линейных нестационарных дифференциальных уравнений, соответствующей левому наибольшему общему делителю операторных матриц объекта управления. Задача синтеза стабилизирующего регулятора, представимого в пространстве состояний, сведена к решению матричного операторного уравнения с устойчивой правой частью.

Ключевые слова: линейные нестационарные дифференциальные матричные операторные уравнения, экспоненциальную устойчивость замкнутой линейной нестационарной многосвязной системы, стабилизация.

Актуальность темы. Широкий класс объектов и систем управления адекватно представляются в виде системы линейных нестационарных дифференциальных уравнений с производными в правой части. Синтез динамических регуляторов таких объектов, обеспечивающих экспоненциальную устойчивость замкнутой системы, является классической задачей теории автоматического управления.

Анализ последних исследований. Необходимым условие, предъявляемым к синтезируемой замкнутой системе, является её грубость, то есть способность сохранять свои свойства при малых вариациях параметров [1]. Известно [2], что правильные регуляторы, как правило, обеспечивают грубость всей системы в целом. Это объясняется тем, что при таких регуляторах имеет место постоянство порядка дифференциального уравнения замкнутой системы в случае вариации параметров. Примечательно, что правильные линейные системы и только правильные допускают представление в пространстве состояний [3].

В рамках полиномиального подхода к задаче стабилизации линейных стационарных систем получены необходимые и достаточные условия решения вопроса [4].

В данной работе предпринята попытка обобщить эти результаты на нестационарный случай.

Постановка задачи. Получить необходимые и достаточные условия стабилизируемости объекта управления, представленного в виде системы линейных нестационарных дифференциальных уравнений с производными в правой части. Предложить процедуру синтеза стабилизирующего регулятора, реализуемого в пространстве состояний и обеспечивающего заданную степень экспоненциальной устойчивости замкнутой системы.

Обоснование полученных результатов. В пространстве сигналов X , состоящем из бесконечно дифференцируемых, за исключением конечного числа точек, функций, выделим подпространство функций M_α , имеющих вместе со всеми своими производными характеристический показатель Ляпунова [5] меньший отрицательного числа α .

Пусть в обратную связь к объекту

$$A_1 x = B_1 u, \quad (1)$$

где $A_1 \in R^{n \times n}$, $\text{rank } A_1 = n$, $B_1 \in R^{n \times m}$, $x \in X^n$, $u \in X^m$ включен регулятор

$$Cv = Dw, \quad (2)$$

где $C \in R^{m \times m}$, $\text{rank } C = m$, $D \in R^{m \times n}$, $v \in X^m$, $w \in X^n$, $u = u_1 - v$, $w = u_2 + x$. Здесь R – кольцо линейных нестационарных дифференциальных операторов с коэффициентами из поля функций со строгим нулевым показателем Ляпунова, замкнутого относительно дифференцирования; $u_1 \in X^m$, $u_2 \in X^n$ – внешние задающие или возмущающие входы.

Перепишем замкнутую систему (1) и (2) в виде

$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ -D & C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Определение 2. Объект (1) α -стабилизируем, если существует такой регулятор (2), что в замкнутой системе (3) при нулевых входах u_1 и u_2 , выходы x и v лежат в M_α^n и M_α^m , соответственно. Такой регулятор назовём α -стабилизатором объекта (1).

Нахождение α -стабилизатора объекта равносильно стабилизации объекта с заданной степенью экспоненциальной устойчивости, меньшей заданного отрицательного числа α .

Следуя работе [6], приведём матрицу $E = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \end{bmatrix}$ нижней левой ступенчатой форме

$$EU = [C_1 \ 0], \quad (4)$$

где $U, U^{-1} \in \mathbb{R}^{(n+m) \times (n+m)}$ и $C_1 \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – левый наибольший общий делитель (ЛНОД) матриц A_1 и B_1 .

Распишем матрицу

$$U = \begin{bmatrix} E_r & -B_r \\ F_r & A_r \end{bmatrix}, \quad E_r \in \mathbb{R}^{n \times n}, \quad B_r \in \mathbb{R}^{n \times m}, \quad F_r \in \mathbb{R}^{m \times n}, \quad A_r \in \mathbb{R}^{m \times m}. \quad (5)$$

В равенстве (4), при фиксированной матрице C_1 , матрица U определена с точностью до её умножения справа на матрицу $\begin{bmatrix} I_n & 0 \\ 0 & V \end{bmatrix}$,

где $V, V^{-1} \in \mathbb{R}^{m \times m}$. Это то же самое, что матрицы A_r и B_r в (5) определены с точностью до умножения их справа на V . Поэтому на основании работы [7] можно полагать, что A_r – собственная по столбцам матрица.

Совершим в (3) замену переменных

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{v} \end{bmatrix} = U^{-1} \begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix} \quad (6)$$

Из (4) и (5) имеем

$$\begin{bmatrix} C_1 & 0 \\ \Delta_2 & \Delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{где } \Delta_1 = CA_r + DB_r \quad (8)$$

$$\Delta_2 = CF_r + DE_r \quad (9)$$

Рассмотрим условие α -стабилизируемости.

Утверждение 1. Если регулятор (2) стабилизирует объект (1), то один из ЛНОД C_1 матриц объекта A_1 и B_1 лежит в множестве операторных матриц,

$$S_0(M_\alpha^n) = \{s \in \mathbb{R}^{n \times n} \mid M_\alpha(sx=0^n) \Rightarrow x \in M_\alpha^n\} \quad (10)$$

соответствующих системам однородных линейных нестационарных дифференциальных уравнений со степенью экспоненциальной устойчивости равной α .

Доказательство. Из условия и определения 2.2 имеем, что при нулевых входах в замкнутой системе (3) элементы векторных выходов v и x лежат в M_α . Так как матрица U обратима над R , то в (6), получаем $\bar{x} \in M_\alpha^n$. Следовательно, в равенстве (7) $C_1 \bar{x} = 0^n$. Что, согласно определению (10), означает истинность утверждения.

Утверждение 2. Пусть объект (1) строго правильный и один из ЛНОД C_1 матриц A_l и B_l лежит в $S_0(M_\alpha^n)$, тогда существует α -стабилизатор объекта, являющийся правильной системой.

Доказательство. Из (4) и (5) следует, что

$$A_l B_r = B_l A_r \quad (11)$$

Так как $\text{rank } A_l = n$, то и $\text{rank } A_r = m$. Из (11) получаем для матриц над телом частных кольца R : $A_l^{-1} B_l = B_r A_r^{-1}$. По условию матрица $A_l^{-1} B_l$ – строго правильная. Согласно [7], степени столбцов матриц A_r и B_r удовлетворяют неравенству $\text{cd}_i(B_r) < \text{cd}_i(A_r)$, $i=1, 2, \dots, m$. Рассмотрим равенство (8) как уравнение $ZA_r + YB_r = \Delta_1$. Матрицы A_r и B_r удовлетворяют условиям теоремы из [8]. Возьмём в качестве правой части Δ_1 матрицу, удовлетворяющую условиям теоремы из [8]. Например, можно взять Δ_1 в виде диагональной матрицы с степенями операторов равными $\text{cd}_i(A_r) + \deg(A_l^\beta) - 1$. Матрица A_l^β определена в соотношении (3) в [8]. Взяв любое из решений, удовлетворяющее неравенству $d(Y) < d(A_l^\beta)$, в силу теоремы из [8] имеем, что матрица C будет полного ранга и правильной по строкам. Причём $\text{rd}_i(D) \leq \text{rd}_i(C) = k$, $i=1, 2, \dots, m$, где $\text{rd}_i(Y)$ – наивысшая степень дифференциальных операторов в i -й строке матрицы. Из [7] следует, что регулятор (2) будет правильной системой и следовательно представим в пространстве состояний [3].

Покажем, что полученный регулятор можно сделать α -стабилизатором, если в качестве Δ_1 взять любой элемент из множества операторных матриц

$$S(M_\alpha^n) = \{S \in R^{n \times n} \mid \forall x \in X^n \forall u \in M_\alpha^n (Sx = u) \Rightarrow x \in M_\alpha^n\}.$$

соответствующих системам неоднородных линейных нестационарных дифференциальных уравнений со степенью экспоненциальной устойчивости в терминах вход-выход равной α . Например, можно взять Δ_1 в виде диагональной матрицы с элементами, общий вид которых приведен в работе [9], где получен конструктивный критерий экспонен-

циальной устойчивости линейного нестационарного дифференциального уравнения в терминах вход-выход.

Теперь регулятор удовлетворяет соотношению (8), в котором $\Delta_1 \in S(M_\alpha^n)$. По условию $C_1 \in S_0(M_\alpha^n)$. Из (7) следует, что $\bar{x} \in M_\alpha$, $\Delta_1 \bar{v} = \Delta_2 \bar{x}$. Используя определение $S(M_\alpha^n)$ и замкнутость M_α относительно действия операторов из R получим $\bar{v} \in M_\alpha^n$. Согласно (6)

имеем $\begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix} = U \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{v} \end{bmatrix}$ и окончательно получаем $x \in M_\alpha^n$, $v \in M_\alpha^m$.

Ч.Т.Д.

Таким образом, задача синтеза стабилизирующего регулятора сведена к решению дифференциального матричного уравнения с устойчивой правой частью.

ЛНОД C_1 определён с точностью до умножения справа на обратимую над R матрицу. Однако, как следует из [10] это не влияет на принадлежность C_1 множеству $S_0(M_\alpha^n)$. Поэтому фразу «один из» в предыдущих теоремах можно убрать. Таким образом мы доказали следующую теорему.

Теорема. Для α -стабилизируемости строго собственного объекта (1) необходимо и достаточно, чтобы ЛНОД C_1 матриц A_1 и B_1 лежал в множестве $S_0(M_\alpha^n)$.

Выводы. Показано, что необходимым и достаточным условием существования регулятора, обеспечивающего экспоненциальную устойчивость замкнутой линейной нестационарной многосвязной системы, является экспоненциальная устойчивость системы однородных линейных нестационарных дифференциальных уравнений, соответствующей левому наибольшему общему делителю операторных матриц объекта управления. Задача синтеза стабилизирующего регулятора, представимого в пространстве состояний, сведена к решению матричного операторного уравнения с устойчивой правой частью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронов А.А., Витт А.А, Хайкин С.Э. Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959. 915 с.
2. Якубович В.А. Оптимизация и инвариантность линейных стационарных систем управления. Обзор // Автоматика и телемеханика. 1984. С. 5-47.
3. Григорьев В.М. Представление систем в пространстве состояний // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 2 (10). - Днепропетровск, 2006. - С. 104–112.
4. Blomberg K.J., Ylinen R. Algebraic theory for multivariable linear system. London etc.: Acad. Press, 1983. XX. 260 p.
5. Теория показателей Ляпунова и её приложение к вопросам устойчивости. / Былов Б.Ф., Виноград Р.Э., Гробман Д.М., Немыцкий В.В. М.: Наука, 1966. 576 с.
6. Григорьев В.М. Совместность и эквивалентность линейных нестационарных систем управления // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 6 (35). - Днепропетровск, 2004. - С. 24-32.
7. Григорьев В.М. Правильные операторные матрицы // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 6 (41). - Днепропетровск, 2005. - с. 10–14.
8. Григорьев В.М. Линейные нестационарные дифференциальные матричные операторные уравнения // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 5 (4). – Днепропетровск, 2009. - С. 67-73
9. Григорьев В.М. Критерий устойчивости в терминах вход-выход линейного нестационарного дифференциального уравнения // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 1 (60). - Днепропетровск, 2009. - С. 65-69.
10. Григорьев В.М. Устойчивость линейных систем в операторной форме// Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. - Выпуск 2 (10). - Днепропетровск, 2008. - С. 83–88

Получено 20.01.2011г.

А.А. Литвинов, М.В.Павленко, И.Н. Сонин

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПОТОКОВ РАБОТ СТАЦИОНАРНОГО ЛЕЧЕБНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

Аннотация. В данной работе рассмотрен вариант разработки подсистемы мониторинга на базе технологии Windows Workflow Foundation. Результаты работы могут служить основой для разработки информационной системы оценки качества лечения больных стационарного лечебного учреждения, использоваться для оценки и оптимизации выполнения стандартов медицинской помощи.

Ключевые слова: поток работ, активность, мониторинг, сервис мониторинга, анализ, подсистема, Windows Workflow Foundation.

Введение и актуальность. В настоящее время в области здравоохранения с целью оптимизации управленческих решений, обучения врачей, повышения качества медицинской помощи организуются работы по стандартизации. Разрабатываемые стандарты должны стать базой, определяющей отдельные звенья процесса оказания медицинской помощи, предлагающего использование наиболее эффективных, и в то же время, наиболее экономичных методов диагностики и лечения[1]. Однако, без интеграции разработанных стандартов с соответствующей информационной поддержкой, обеспечивающей возможность осуществления контроля выполнения стандартов, процесс практического их внедрения не является возможным. Поэтому вопросы построения информационных технологий поддержки (построения, выполнения, контроля) стандартов медицинской помощи являются актуальными вопросами медицинской информатики.

Краткий обзор существующих методов и постановка задачи. В основе автоматизации выполнения и контроля стандартов целесообразно использовать модель управления бизнес-процессами (BPMN), которая включает 5 фаз: разработку, моделирование, выполнение, мониторинг, оптимизацию бизнес процессов. При этом стандартам соответствуют потоки работ, за выполнение которых отвечает соответ-

ствующий уровень информационной системы, занимающийся координацией программных компонентов[2]. Поток работ можно определить как абстракцию, описывающую структуру и порядок активностей, временные и пространственные ограничения, использование людских и материальных ресурсов для достижения цели – эффективного лечения пациента.

Существующие системы автоматизации работы клиник, как правило, не являются потоко-центрированными и ориентированы преимущественно на автоматизацию документооборота или экономические аспекты деятельности лечебного учреждения, обеспечивая, таким образом, лишь поддержку определенных бизнес-процессов. Такое положение ведет к известным проблемам, связанным с утратой гибкости и адаптивности системы к изменчивости бизнес-процессов, отсутствию возможности полного контроля за выполнением потоков работ, определяемых стандартом [2]. В представленной работе основное внимание уделяется вопросу построения модуля, связанного с задачей мониторинга выполнения бизнес-процессов, которые соответствуют стандартам медицинской помощи.

Основная часть. Принимая во внимание основные требования к системе управления потоками работ для оценки качества и стоимости лечения, представленные в [3], определим основные функции подсистемы контроля и анализа выполнения потоков работ. Такой модуль должен предполагать возможности: контроля за оказанием медицинской помощи конкретного пациента в соответствии со стандартом; контроля помощи группам пациентов определенной нозологии, определяющей стандарт помощи; выявление несоответствий и нарушений выполнения стандарта. При этом следует отметить, что факты несоответствия потоков работ стандартам могут давать ценную информацию как с точки зрения единичных случаев изменения потока работ, так и служить причиной пересмотра существующих стандартов. Важной особенностью представляемого модуля является ориентир на пользователя-неспециалиста.

В целом первая задача модуля состоит в фиксировании нестандартных, пользовательских событий связанных с определенными активностями, составляющими элементарные шаги выполнения потока работ, в нашем случае стандарта медицинской помощи пациенту с определенным диагнозом. Сохраненная информация в дальнейшем

служит базой для анализа и последующей оптимизации потоков, что является второй задачей разрабатываемой подсистемы.

Работу системы можно описать следующим образом. При приеме пациента заводится отдельный поток работ, связанный с его диагнозом, который относится к определенному классу (стандарту лечения), включающем множество шагов соответствующих активностям. С выполнением шагов связаны исполнители и ресурсы, действия которых фиксируются с помощью информационной системы. При этом каждый исполнитель отвечает только за свою активность, характеризующуюся длительностью выполнения, материальными затратами. Класс потока работ, определяющий стандарт, задается медиком-экспертом и связан с основным клиническим диагнозом пациента[4]. Основными активностями потока являются: процедура, которая может быть лечебной, диагностической, выполнением лабораторного исследования; назначение медикаментов. Вместе с тем, кроме процедур и назначений могут использоваться другие активности, связанные с соответствующими подсистемами: выделение/освобождение койки определенного типа, назначение/снятие стола питания и т.д. Важная роль также отводится активностям оценочного характера, определяющим путь дальнейшего развития потока. Следует особенно подчеркнуть возможность расширения и изменчивость потока работ. Возможные изменения потока работ (добавление, изменение активностей) со стороны лечащего врача. Основными фиксируемыми событиями для таких потоков работ являются: начало выполнения потока/активности, завершение, изменение структуры потока работ со стороны исполнителя (добавление или удаление активности), изменение характеристик активности (напр., длительность выполнения активности).

Поставленные задачи ставят разработчика перед использованием специализированных средств построения систем управления потоками работ. На текущий момент в качестве лидирующей среды разработки систем управления потоками работ следует отметить технологию Windows Workflow Foundation (далее WWF)[4]. Однако, предоставленные стандартные средства мониторинга SqlTrackingService, позволяющие создавать системы мониторинга выполнения потоков работ, не являются достаточно гибкими и в целом не отвечают поставленным задачам, так как не дают возможности фиксировать

пользовательские события, информацию об изменении структуры потока работ. Поэтому было принято решение о разработке собственной службы мониторинга на базе абстрактного класса `TrackingService` [5]. Основу мониторинга составляет таблица хранящая информацию, как о выполнении отдельных активностей, так и выполнении потока в целом (табл.1). Пример результатов мониторинга показан на рис.1. Типовыми событиями, связанными с выполнением потока работ являются: начало выполнения потока, выполнение, завершение потока работ. Все эти стадии разработанная служба мониторинга отслеживает, используя механизм подписки на соответствующие события канала мониторинга. Предполагается, что для большинства отслеживаемых активностей потока работ существует граничное время выполнения, которое при выполнении активности системой заносится в соответствующее поле `Time`. Наличие информации о начале и завершении выполнения активности позволяет вычислить фактическое время выполнения и сравнить с заданным лимитом. Добавление новой активности в поток отмечается пометкой `New` в поле `Field1`, а событие удаления активности фиксируется в таблице с соответствующей пометкой `Delete`. Все это позволяет упростить процесс анализа прохождения потоков работ.

Таблица 1

Структура таблицы, хранящей информацию о потоках работ

Атрибут	Определение
<code>ParentContextGuid</code>	Уникальный идентификатор потока работ
<code>QualifiedName</code>	Класс потока работ, соответствует наименованию диагноза, определяющему стандарт лечения.
<code>Type</code>	Тип потока работ
<code>Status</code>	Информация про статус потока или активности.
<code>EventDateTimeStart</code>	Время начала выполнения потока или активности
<code>ActivityType</code>	Тип активности
<code>Time</code>	Лимит времени, отведенный для выполнения данной активности
<code>Field1</code>	Информация о добавленных активностях в поток работ.
<code>Field2</code>	Информация об удаленных активностях из данного экземпляра потока работ.
<code>EventDateTimeFinish</code>	Время окончания выполнения потока или активности

Основная форма приложения анализа информации, собранной сервисом мониторинга показана на рис.2. Возможна сортировка пациентов по времени прохождения лечения, по типу заболевания. Существует возможность фильтрации пациентов, лечение которых от-

личается от стандарта и лечение которых не завершено. Различными цветами выделяются пациенты, лечение которых происходит с отклонениями от заданного стандарта (рис.2). Так красным цветом выделены пациенты, лечение которых проходит с осложнениями. Желтым – пациенты, у которых время выполнения активности (напр., лечебной процедуры) превышает время отведенное стандартом. Голубым цветом - потоки, связанные с пациентами, лечение которых не завершено. Зеленым цветом – пациенты, у которых лечение проходит с осложнениями и время прохождения лечебной процедуры превышает время отведенное стандартом. Серым цветом – пациенты, у которых лечение незавершено и проходит с осложнениями. Фиолетовым цветом выделены пациенты, которые подпадают под все три критерия.

ParentContext...	QualifiedName	Type	Status	EventDateTim...	ActivityType	Time	Field1	Field2	EventDateTim...
88-a352e98492a1	K25		Created	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
494196ee-182c-...	K25		Started	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
494196EE-182C-...	SimpleWorkflow	ConsoleTrackin...	Closed	4/27/2010 11:17...		0			4/27/2010 11:17...
494196ee-182c-...	K25		Suspended	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
494196ee-182c-...	K25		Changed	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
494196ee-182c-...	K25		Resumed	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
0ca8d745-4084-...	k27		Created	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
0ca8d745-4084-...	k27		Started	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
ccd6251a-9dd7-...	k27		Created	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
ccd6251a-9dd7-...	k27		Started	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
e591e7fa-d105-...	K25		Created	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
e591e7fa-d105-...	K25		Started	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
E591E7FA-D105...	SimpleWorkflow	ConsoleTrackin...	Closed	4/27/2010 11:17...		0			4/27/2010 11:17...
494196EE-182C-...	working	System.Workflo...	Closed	4/27/2010 11:17...	System.Workflo...	20	15		4/27/2010 11:17...
494196EE-182C-...	code11	System.Workflo...	Closed	4/27/2010 11:17...	System.Workflo...	10	New		4/27/2010 11:17...
494196ee-182c-...	K25		Completed	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...
0CA8D745-4084...	codeActivity1	System.Workflo...	Closed	4/27/2010 11:17...	System.Workflo...	20	15		4/27/2010 11:17...
0CA8D745-4084...	listenActivity1	System.Workflo...	Closed	4/27/2010 11:17...		0			4/27/2010 11:17...
0ca8d745-4084...	Initial		Initial	4/27/2010 11:17...		0			1/1/1900 12:00:...

Рисунок 1 - Пример результатов мониторинга

При выборе пациента выводится список его лечебных процедур. Так же формируется график прохождения лечения и график прохождения лечения по стандарту. Это дает возможность эксперту оперативно отслеживать и делать выводы про прохождение лечения пациента.

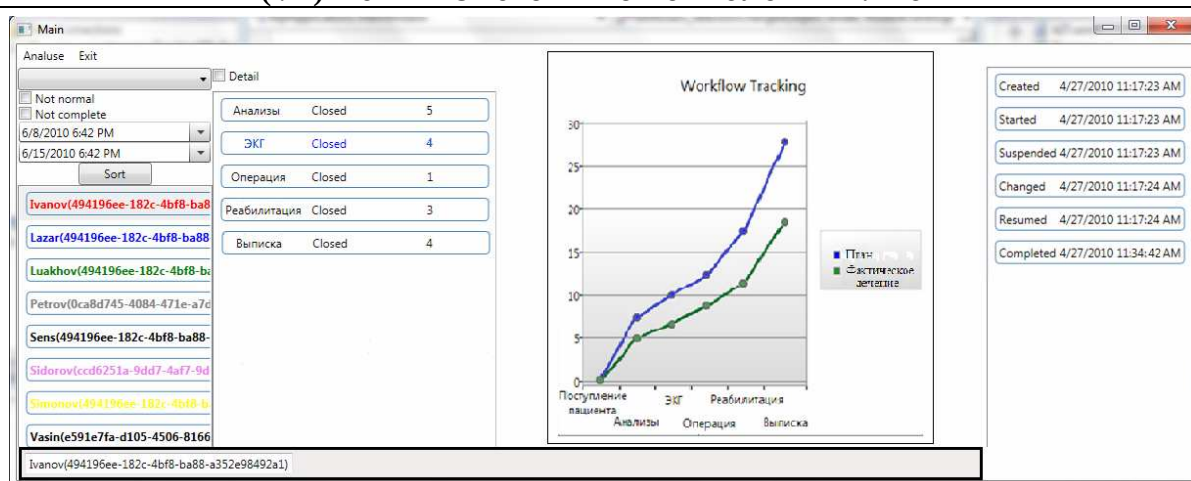


Рисунок 2 - Общий вид формы анализа лечения пациентов

Выводы. В данной работе рассмотрен вариант оригинальной разработки подсистемы мониторинга на базе технологии WWF, которая включает два модуля: сервис фиксирования событий и средство анализа выполнения потоков работ. Данные средства могут эффективно использоваться для оценки и оптимизации выполнения стандартов медицинской помощи, позволяя оценить расхождение фактически выполненных активностей с запланированным стандартом (время, структура потока работ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Березницкий Я.С., Бойко В.С., Бруснищина М.П. и др. Клинические рекомендации для врачей по вопросам организации и оказания медицинской помощи больным с острыми хирургическими заболеваниями органов живота (ведомственная инструкция): – Киев – 2004, – 353 с.
 2. Wil van der Aalst, K.M. van HeeM. Workflow Management: Models, Methods, and Systems. IT press, Cambridge, MA, 2002. – 384 p.
 3. Брежнев А.И., Литвинов А.А., Павленко М.В. "Основные требования к системе управления потоками работ для оценки качества и стоимости лечения". - Донецк ДНТУ 2010, Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг, Збірка матеріалів І всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених - том 1 с. 38-39.
 4. Дзяк Г.В., Березницкий Я.С., Филиппов Ю.А. и др. Библиотека практического врача. Унифицированные клиничко-статистические классификации болезней органов пищеварения (ведомственная инструкция): – Киев, 2004. – 93 с.
 5. K. Scott Alen. Programming Windows Workflow Foundation: Practical WF Techniques and Examples Using XAML and C#. 2006. P.249.
- Получено 20.01.2011г.

О.Ю. Олейник, И.М. Черненко, О.П. Мысов

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДОВ ВАНАДИЯ

Аннотация. Выполнено моделирование процесса получения диоксида ванадия в системах V-O-F-H-Na с использованием программного комплекса «Селектор». Установлена возможность получения диоксида ванадия в водных растворах системы V-O-F-H-Na и описаны возможные химические реакции, приводящие к образованию диоксида ванадия с использованием составных частей исследуемой системы.

Ключевые слова: термодинамическое равновесие, программный комплекс «Селектор», исходные компоненты, фаза, оксид ванадия.

Введение. Кристаллический диоксид ванадия (VO_2) – полупроводник, который обладает фазовым переходом I рода при температуре 68°C [1]. Этот переход сопровождается изменением типа электропроводности от полупроводниковой к металлической (скачек удельного электрического сопротивления составляет $\sim 10^4$ раз). Однако, срок службы оксиднованадиевых изделий, электронных и оптических элементов в частности, снижает явление «растрескивания» кристаллов VO_2 , которое обусловлено возникающими механическими напряжениями при фазовом переходе.

Исследования, выполненные в [2] позволяют утверждать, что одним из путей повышения срока эксплуатации оксиднованадиевых элементов является снижение размеров кристаллов VO_2 (менее сотен микрометров). Анализ существующих методов получения наноразмерных частиц, выполненный в [3,4,5], свидетельствует что наиболее эффективным методом получения наночастиц является конденсационный способ синтеза в жидкой фазе [6].

Постановка задачи. Целью работы является выбор исходных компонентов и определение условий для протекания наиболее благоприятной жидкофазной реакции в оксиднованадиевой системе путем компьютерного термодинамического моделирования с помощью программного комплекса «Селектор» (ПК «Селектор») [5, 6].

Обоснование полученных результатов. В данной работе в качестве сценария моделирования использовали минимизацию изобарно-изотермического потенциала Гиббса.

Выбор обусловлен возможностью практического воспроизведения условий моделирования при проведении экспериментальных исследований.

В данной работе была исследована система V-O-F-H-Na в виде растворов тетрафторида ванадия в присутствии щелочи NaOH. Средой для протекания химических реакций взаимодействия между выбранными компонентами была выбрана вода. При проведении расчетов учитывались все возможные соединения, которые включают исходные компоненты исследуемой системы, содержащиеся в базе ПК «Селектор».

Моделирование термодинамического равновесия системы осуществлялось для таких исходных количеств компонентов раствора: тетрафторида ванадия – 0,048 моль, воды – 55,5 моль, содержание щелочи в среде варьировали в диапазоне 0 – 2,5 моль, с шагом 0,05 моль.

Результаты расчета изменения концентраций основных компонентов, выполненного при значении температуры среды 20°C и давлении 0,1 МПа, представлены на рис.1. При этом мольные концентрации компонентов меньше 10⁻² моль/л в расчетах учитывались, но на графиках не приведены. На рисунке приведена также зависимость концентрации водородных ионов, изменяющаяся в диапазоне от 10⁻¹ до 10⁻¹² моль/л. в зависимости от содержания щелочи в растворе. Изучаемая химическая система V-O-F-H-Na является многофазной гетерогенной термодинамической системой. Как показали результаты термодинамического моделирования система содержит три нейтральных составляющих: V₂O₃, VO₂, VF₄. Тетрафторид ванадия является исходным компонентом исследуемой системы, оксиды ванадия представляют собой продукты взаимодействия компонентов системы. Характер поведения приведенных на рис.1 функциональных зависимостей концентрации основных компонентов раствора определяется термодинамическим условием равновесия изучаемой системы при разных значениях pH. Как видно, полученные зависимости имеют ряд особенностей. Первая из них заключается в том, что скачек на кривой зависимости pH при значении содержания NaOH равном 1,6

моль, соответствует экстремуму концентрации диоксида ванадия в растворе. Вторая особенность заключается в том, что при pH больше 9 четырехвалентный ванадий переходит в трехвалентный, что подтверждается наличием среди составных частей систем оксида V_2O_3 . В растворе присутствуют также ванадийсодержащие ионы, которые содержат ванадий в пятивалентном состоянии – HVO_4^{2-} , VO_4^{3-} . Поведение приведенных зависимостей для сложных ионов пятивалентного ванадия, HVO_4^{2-} , VO_4^{3-} , а также нейтральных составляющих системы и их количественные соотношения соответствуют известным экспериментальным данным [7], что свидетельствует о достоверности результатов моделирования.

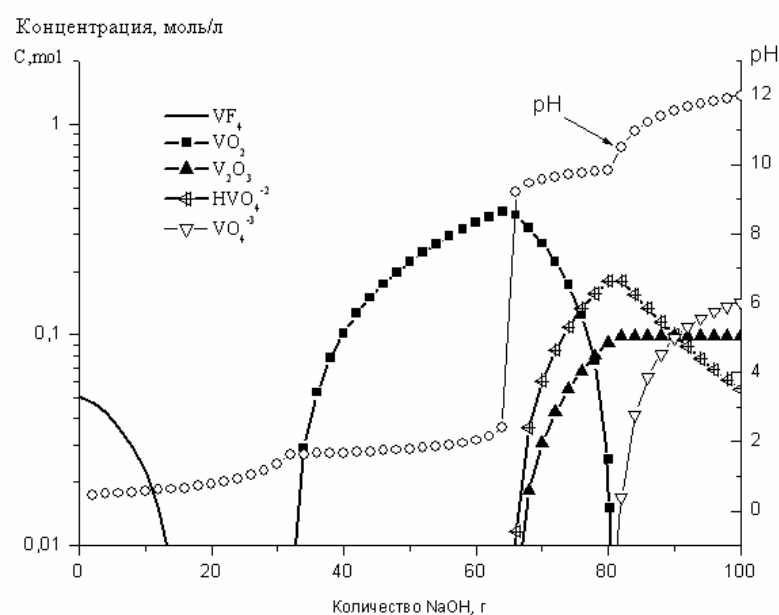


Рисунок 1 – Изменение концентрации основных компонентов системы V-O-F-H-Na и pH от количества щелочи. Температура 20°C.

Давление 0,1 МПа

Очевидно, в растворе, образованном растворением тетрафторида ванадия (VF_4) в воде в присутствии натриевой щелочи (NaOH) протекает реакция конденсации и гидратации, которую можно описать следующим уравнением:



Согласно (1) продуктами реакции являются молекулы диоксида ванадия (VO_2) и фторида натрия (NaF). NaF остается в растворе в растворенном виде, диоксид ванадия, напротив, не растворяется в воде. Уточнение продуктов реакции (1) и возможных других путей про-

текания реакции в системе V-O-F-H-Na может быть сделано путем дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

В системе V-O-F-H-Na было также выполнено термодинамическое компьютерное моделирование зависимости содержания VO_2 в растворе при разных температурах. Результаты таких расчетов свидетельствуют о том, что существенных изменений содержания диоксида ванадия в растворе в диапазоне 20 - 100°C не наблюдается.

Выводы. Выполнено компьютерное моделирование фазообразования в водном растворе системы V-O-F-H-Na с использованием программного комплекса «Селектор» путем минимизации термодинамического потенциала Гиббса. Термодинамические исследования показали, что в системе V-O-F-H-Na диоксид ванадия может быть получен при температуре 20°C при содержании щелочи 25-80г/л. Приведена возможная химическая реакция, описывающая полученные результаты расчетов с использованием составных частей исследуемой системы, что свидетельствует о возможности практического получения диоксида ванадия в системе V-O-F-H-Na.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаев А.А., Захарченя Б.П., Чудновский Ф.А. Фазовый переход металл-полупроводник и его применение. - Л.:Наука, 1979.–183 с.
2. Івон О.І. Склокерамічні матеріали на основі компонента з фазовим переходом метал – напівпровідник: Автореф. дис. д-ра ф.-м. н: 01.04.07 / Дніпроп. нац. ун-т. 2008, – 38 с.
3. Шабанова Н.А., Попов В.В., Саркисов П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов- М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 309 с.
4. Скороход В.В., Уварова І.В., Рагуля А.В. Фізико-хімічна кінетика в наноструктурних системах. – К.: Академперіодика, 2001. – 180 с.
5. Черненко И.М., Мысов О.П., Олейник О.Ю. Компьютерное моделирование термодинамического равновесия в средах V-O-H-Na. V-O-H-S // Вопросы химии и химической технологии. – 2009. - № 3. С. 207-211.
6. Чудненко К.В. Теория и программное обеспечение метода минимизации термодинамических потенциалов для решения геохимических задач: Дис. д.-ра. геол.-мин. наук. – Иркутск: ИрГТУ.2007. – 385 с.
7. Аналитическая химия ванадия / В.Н. Музгин, Л.Б. Хамзина, В.Л. Золотавин, И.Я Безруков. – М.: Наука, 1981. – 216 с.

Получено 21.01.2011г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ШУМА, ВОЗНИКАЮЩЕГО В ГАЗОПРОВОДЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. Исследованы шумы, присутствующие в акустическом тракте ультразвукового расходомера газа. Чаще всего они представляют собой смесь гармонического шума в диапазоне 98-110 кГц и белого гауссовского шума. На основе набора реализаций шумов от разных источников определена усредненная спектральная модель шума, использующаяся при проектировании алгоритма адаптивной фильтрации.

Ключевые слова: гармоничный, гауссовский шум, ультразвуковой расходомер, спектральная модель, адаптивная фильтрация.

Вступление. Для контроля расхода воды и теплоносителя с 60-х годов прошлого века в промышленности применяются ультразвуковые расходомеры. Неоспоримые достоинства ультразвуковых расходомеров: малое или полное отсутствие гидравлического сопротивления, надежность (вследствие отсутствия подвижных механических элементов), высокая точность, быстродействие, помехозащищенность – определили их широкое распространение [1]. Данная работа основана на опыте эксплуатации время - импульсных расходомеров газа типа «Курс».

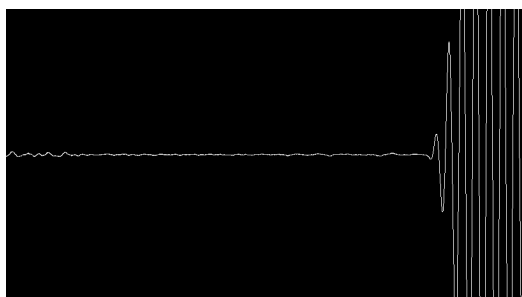
Постановка задачи. Рабочая среда, движущаяся в газопроводе, проходя через отдельные элементы трубо-транспортной системы вызывает собственные акустические колебания в широком диапазоне частот. Эти колебания накладываются на зондирующие импульсы ультразвуковых расходомеров, что может привести к их некорректной работе. Данная статья посвящена исследованию характеристик шума.

Экспериментальные исследования. В качестве источников шума могут выступать:

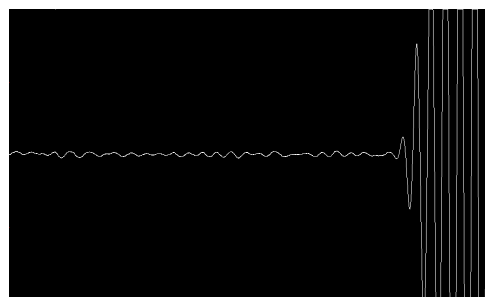
- Движущийся, сильно турбулентный поток газа. Элементами потока, способными создавать широкополосные акустические шумы, в частности, могут выступать продольные завихрения, возникающие

вдоль направления движения всего потока. Значительную роль в механизме образования турбулентности играет шероховатость внутренней поверхности самого трубопровода.

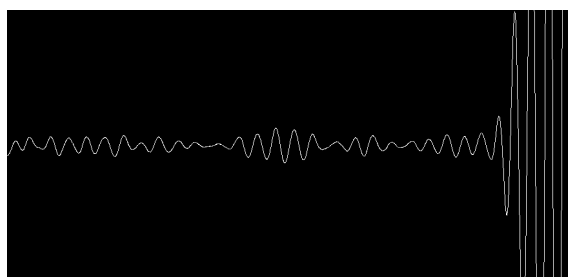
- Сварные швы и соединительные элементы. Различного рода неоднородности в самом трубопроводе могут существенно повышать турбулентность потока, и, как следствие, косвенно выступать в роле источника акустического шума, влияющего на работоспособность прибора. Это выступы и ступеньки в проточной части перед датчиками и после них, образованные в результате несоосного монтажа (либо не совпадения диаметра фланцев и уплотнительных прокладок), наличие различного рода острых выступов на внутренней поверхности трубопроводов, не зачищенные сварные швы фланцев и поворотов трубопровода. На рис.1 приведены сигналы по одному из измерительных каналов расходомера «Курс G-250» в процессе испытания на установке АУРС-1600 (г. Новомосковск) при максимальном расходе 400 м³/ч, на установке в г. Ивано-Франковск при отсутствующем расходе (статика под давлением) и при максимальном расходе в 400 м³/ч.



а) При отсутствующем расходе



б) На установке АУРС-1600



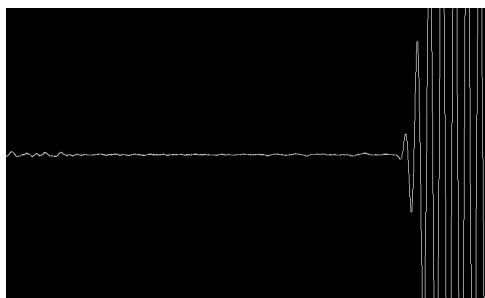
в) На установке в г. Ивано-Франковск

Рисунок 1 - Сигналы по одному из измерительных каналов расходомера «Курс G-250» при максимальном расходе 400 м³/ч

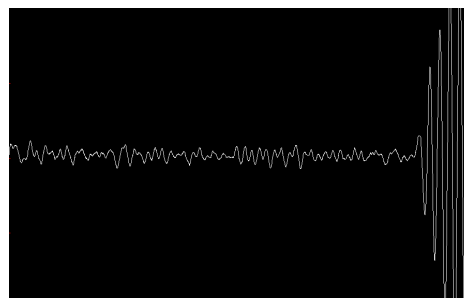
На рисунках видно наличие уровня шума более высокой амплитуды при одинаковых расходах на обеих установках. Более высокая интенсивность шума связана с наличием острых кромок по всему

контуру монтажа датчика температуры, а также сварных швов в трубопроводе.

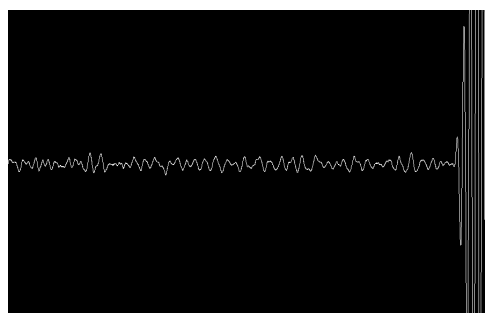
На рис.2 показаны сигналы по одному из измерительных каналов расходомера “Курс G-1000” в процессе испытания на установке АУРС-1600 в г. Новомосковск при расходе $1600 \text{ м}^3/\text{ч}$, на установке УПЛГ-2500 в г. Запорожье при расходе в $1600 \text{ м}^3/\text{ч}$, на установке в г. Ивано-Франковск при отсутствующем расходе (статика под давлением) и при расходе в $1600 \text{ м}^3/\text{ч}$.



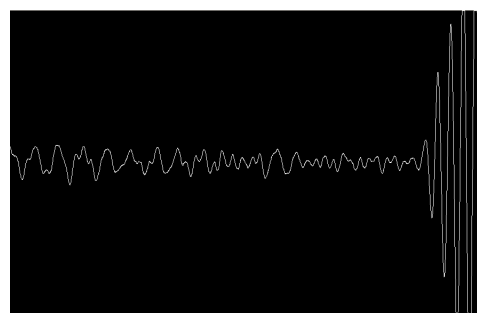
а) При отсутствующем расходе



б) На установке АУРС-1600



в) На установке УПЛГ-2500

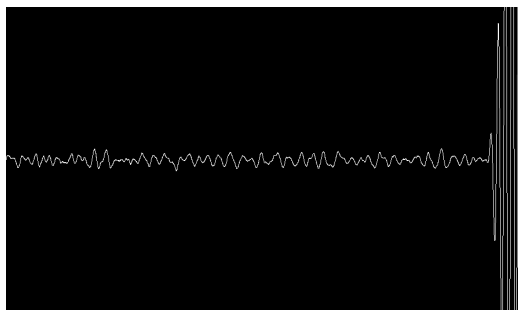


г) В г. Ивано-Франковск

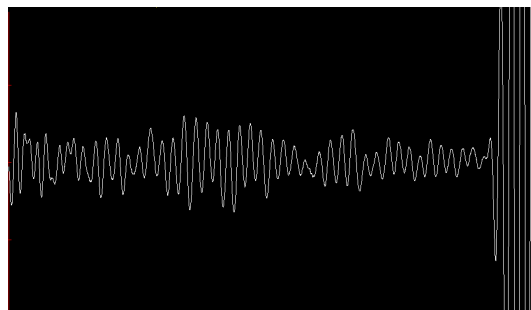
Рисунок 2 - Сигналы по одному из измерительных каналов расходомера “Курс G- 1000” при максимальном расходе $1600 \text{ м}^3/\text{ч}$

- Фильтры. При монтаже на трубопроводе расходомера “Курс-01” установка фильтров тонкой очистки не обязательна. Но для защиты приборов от находящихся в природном газе смолистых веществ, пыли, песка, окалина, ржавчины и других твёрдых частиц целесообразно применять газовые фильтры. В таких фильтрах могут задерживаться крупно-дисперсионные загрязнители. Оставшись в фильтре, такие загрязнители под действием потока газа осуществляют механические колебания, являясь источником постороннего звука. На Рис.3 приведены сигналы по одному из измерительных каналов расходомера “Курс G-1000” в процессе испытания на установке УПЛГ-2500 в г. Запорожье при расходе $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$, и на установке в г. Ивано-Франковск при расходе в $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ с использованием фильтра.

Видно наличие более высокого уровня шума на установке в г. Ивано-Франковск при одинаковых расходах на обеих установках. Причиной этого является фильтр. Шум, производимый фильтром, отчетливо воспринимался даже «на слух».



а) На установке УПЛГ-2500



б) В г. Ивано-Франковск

Рисунок 3 - Сигналы по одному из измерительных каналов расходомера «Курс G- 1000» при максимальном расходе $2500 \text{ м}^3/\text{ч}$

- Струевыпрямители. Несмотря на то, что струевыпрямитель предназначен для сглаживания турбулентности потока, тем не менее, в ряде случаев он сам может являться источником акустических шумов. В первую очередь это связано с той же причиной, что и для фильтров – забивание относительно крупными дисперсными частицами. Кроме того, источником шума может быть шероховатость фасок и острота кромок струевыпрямителя.

- Входные и выходные задвижки и заслонки. Задвижки при эксплуатации расходомера в узлах учёта должны находиться в полностью открытом или закрытом состояниях. В противном случае может происходить «дребезг» частей задвижки под действием потока газа. Такой «дребезг» также служит дополнительным источником акустического шума.

- Редукторы. Редукторы используются для перехода между частью трубопровода с относительно высоким и относительно низким давлением. Прохождение потока газа через редуктор зачастую сопровождается интенсивными акустическими помехами.

Исследование характеристик шума. С целью определения спектра шума была написана программа в среде Matlab 7.0. Если последовательность $\{x(k)\}$, $k=1\dots N$, представляет собой отсчеты, взятые с интервалом $T=1/F_s$, где F_s – частота дискретизации, то спектральные отсчеты, полученные в результате вычисления ДПФ, будут расположены с шагом F_s/N . В расходомере «Курс-01» используется 10-

разрядный АЦП фирмы MAXIM – MAX1444 с частотой дискретизации - 10МГц. Тогда размерность частотной шкалы будет определена с ценой деления $10^7/N$.

Значения по оси ординат в получаемом дискретном преобразовании Фурье можно представить как:

$$U_i = x(k)_i \times \frac{\Delta U}{2^N}, \quad (1)$$

где U_i – текущее значение напряжения подаваемого на вход АЦП (В), $x(k)_i$ – числовое значение на выходе АЦП.

Цена деления по оси ординат при этом будет составлять:

$$du = \frac{\Delta U}{2^N}, \quad (2)$$

где ΔU – разница между максимальным и минимальным значениями напряжения, подаваемого на вход АЦП (В), 2^N – разрядность АЦП.

В нашем случае $\Delta U=2,8В$ и цена деления оси ординат составляет:

$$du = \frac{2.8В}{1024} = 2,73мВ \approx 3мВ. \quad (3)$$

В процессе анализа шумов вычислялось дискретное преобразование Фурье для каждого численного массива представляющего собой закодированную временную выборку шумового процесса. Для полученного результата производился пересчет в систему координат мВ/кГц. После чего находился максимум, а также все локальные максимумы для спектральных линий, определялась их амплитуда и частота. В зависимости от наличия частотных составляющих данные помечались либо как содержащие гармоническую составляющую, либо нет.

Было установлено, что 89 сигналов шума из 105 имеют полосу частот $\Delta f=98-110кГц$. Причем локальные максимумы сосредоточены на частотах $f_1=98кГц$, $f_2=100кГц$, $f_3=105кГц$ и $f_4=110кГц$. При этом амплитуды гармоник в каждом конкретном случае индивидуальны и зависят от природы источника шума. В ряде случаев в шуме присутствуют гармонические составляющие, что существенно для корректного использования алгоритма шумоподавления на основе временного прогнозирования. В свою очередь 16 сигналов имеют практически

равномерный спектр в исследуемом диапазоне. Это говорит об случайном характере шума.

После проведенного спектрального анализа было решено разбить полученные результаты на группы с одинаковыми свойствами, определить число элементов в каждой группе и попытаться выявить общие свойства элементов в каждой группе. Фактически необходимо решить задачу кластеризации данных приведенных. При этом данные представляют собой точки в 4-х мерном пространстве. Частоты f_1 , f_2 , f_3 , f_4 играют роль осей в этом 4-х мерном пространстве, а значения амплитуд гармоник шумового сигнала являются проекциями на соответствующие оси. Для проведения кластеризации данных воспользуемся алгоритмом к-средних (k-means), который получил наибольшее распространение в силу своей простоты. Было принято решение разбить данные на 4 кластера.

Алгоритм к-средних выделил 2 минимальные группы, условно обозначенные как «1» и «4». В первую группу попали 17 сигналов, имеющих минимальное среднее значение по всем гармоникам. Очевидно, что это те сигналы, которые целиком формируются случайной составляющей. В свою очередь в четвертую группу попали 4 сигнала, имеющие максимальные средние значения по всем гармоникам. Считаем, что эти сигналы имеют максимальный уровень гармонического шума в диапазоне Δf кГц. Наибольший интерес представляют собой группы условно обозначенные как «2» и «3». В эти группы отнесены сигналы, представляющие собой смесь случайной и гармонической составляющих. Ранжируя сигналы по уровню гармоник [2,3], получим, что во вторую группу попали смеси с преобладанием случайной составляющей (53 сигнала), а в третью - с преобладанием гармонической составляющей (31 сигнал). Соответствующая гистограмма представлена на рисунке Рис. 4.

Из гистограммы видно, что хотя чисто гармонические шумы явление довольно редкое (всего 4%), они все же присутствуют при определенных условиях. Число чисто случайных шумовых процессов (белый шум) также не велико и составляет всего 16%. Чаще встречаются шумы, содержащие как гармоническую, так и случайную составляющие (50% для смесей с преобладанием случайной составляющей, и 30% для смесей с преобладанием гармонической составляющей).

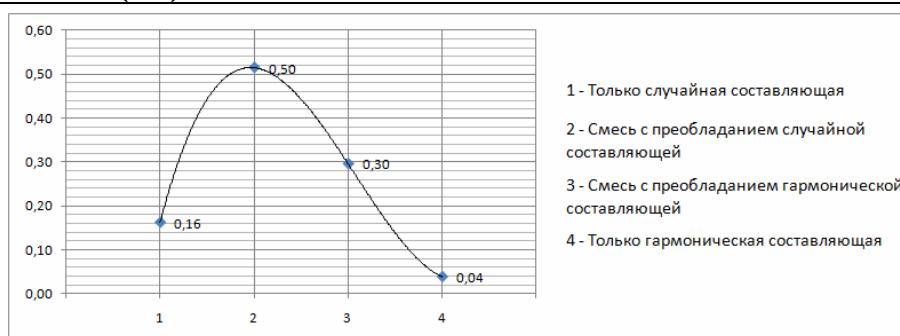


Рисунок 4 - Функция распределения вероятности шумовых сигналов

Построим усредненную модель шума. Для этого усредним спектральную картину по каждой из 4-х рассмотренных выше групп сигналов. При этом j -я средняя гармоника в i -й группе определяется как

$$I_j^i = \frac{\sum_{n=1}^N I_n^i}{N}; i \in 1...4, j \in 1...4 \quad (4)$$

где j – номер средней гармоники, i – номер группы, к которой относится данная гармоника, n – номер гармоники в группе, N – общее число гармоник в группе, I_n^i – значение гармоники с номером n в группе i .

На рис.5 показаны средние спектры для каждой из 4-х групп.

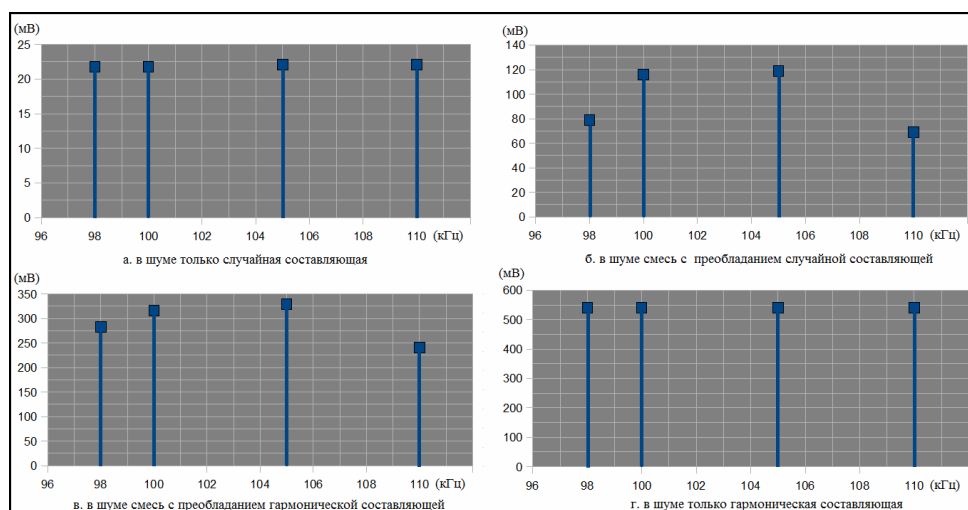


Рисунок 5 - Результирующие спектры для каждой из 4-х групп

Внешние спектральные картины для шума с чисто случайной и только гармоническими составляющими кажутся одинаковыми. Однако это не так. Во-первых, отличаются амплитуды спектральных линий. Во-вторых, амплитуда спектра белого шума имеет практиче-

ски одинаковое значение во всем диапазоне частот, т. В то время как на рис 5. показаны лишь те участки спектра, которые соответствуют локальным максимумам на приведенных здесь четырех гармониках. Это сделано специально для большей наглядности и удобства сопоставления спектральных картин разных типов шумов.

Теперь по имеющимся усредненным данным по каждой группе, а так же с учетом вероятности падения в данную группу постоян усредненную спектральную модель шума. Определим каждую гармонику в усредненной модели шума как

$$I_n = \sum_{i=1}^4 P_n I_n^i, n \in 1...4 \quad (5)$$

где P_n – вероятность сигнала попасть в n-ю группу (одну из четырех рассмотренных выше), I_n^i – i-я гармоника (одна из четырех) в n-й группе. Результат усреднения спектральной модели шума представлен на рис. 6.

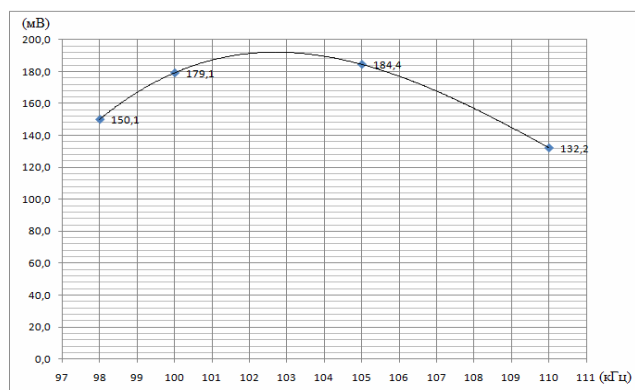


Рисунок 6 - Усредненная спектральная модель шума

На рис. 7 представлено расположение усредненной спектральной модели шума относительно спектральных картин 4-х основных групп сигналов. Видно, что усредненная спектральная модель фактически является средней линией фигуры ограниченной сверху спектральной характеристикой группы шумов, в которой преобладает гармоническая составляющая, а снизу – спектральной характеристикой группы шумов, в которой преобладает случайная составляющая (см. рис. 5.). Тем не менее, усредненная спектральная модель шума не делит площадь первой четверти координат на две равные части. Она больше тяготеет к нижней границе, как наиболее вероятной (см. рис. 4).

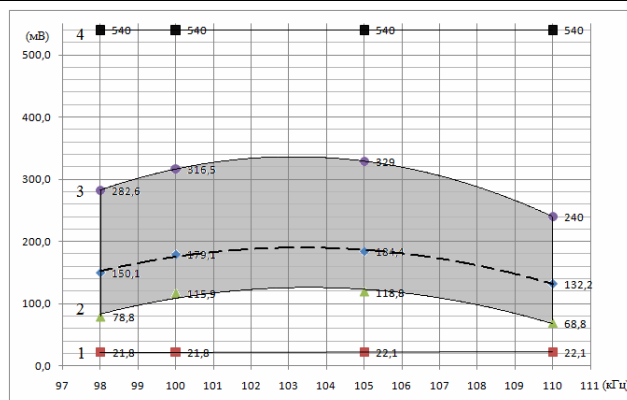


Рисунок 7 - Расположение усредненной спектральной модели шума относительно спектральных характеристик 4-х основных групп сигналов

Выводы. Полоса гармонического шума совпадает с собственной частотой ультразвуковых преобразователей (95-120 кГц).

На практике в акустическом тракте ультразвукового расходомера газа чаще всего встречаются шумы представляющие собой смесь гармонического шума в диапазоне 98-110 кГц, и белого гауссовского шума. Соотношение этих двух видов шумов зависит в каждом конкретном случае от источника шума. Реже встречаются чисто белые шумы, и совсем редким явлением является чисто гармонический шум. На основе набора реализаций шумов от разных источников и имеющих различную природу определена усредненная спектральная модель шума, которая используется в процессе проектирования и тестирования разрабатываемого алгоритма адаптивной фильтрации [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ. Книга 1/2. – СПб, «Политехника» 2002. – 410с./416с.
2. Ханецкий В.С., Валюх А.А. Адаптивный цифровой фильтр на основе нейронных сетей. Сборник научных трудов в 2-х частях. Ч. 1 - М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – С. 167-175.
3. Айфичер Б. Д. Цифровая обработка сигналов: практический подход. Перевод с английского И.Ю. Дорошенко, А.В. Назаренко. - М.: СПб. Издательский дом «Вильямс», 2004.- 457 с.
4. Ханецкий В.С., Валюх А.А. Адаптивна цифрова фільтрація при динамічних вимірюваннях з використанням нейронних мереж.- //Системные технологии - № 5(64).- 2009, с.138-147.

Получено 21.01.2011г.

А.В.Хазанов, Л.Х.Иванова, А.Ю.Хитько, Т.В.Захарова

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЧУГУННЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ

Аннотация. В работе представлены и проанализированы результаты промышленных экспериментов, посвященные определению оптимального типа плавильного агрегата при изготовлении чугуновых сортопрокатных валков, что позволяет уменьшить расход легирующих элементов при плавке валковых чугунов.

Проблема и ее связь с научными и практическими результатами

Для получения литых прокатных валков необходимо применение жидкого чугуна определенного состава и температуры. Поэтому плавка чугуна представляет собой важный процесс и в значительной мере предопределяет результаты всех работ, связанных с изготовлением прокатных валков [1,2].

Чугун для валков различных исполнений выплавляют в вагранках, топливных пламенных и индукционных тигельных печах. Выбор плавильного агрегата определяется в зависимости: а) от требований, предъявляемых к валкам, б) массы валков, в) экономических соображений и др.

Цель работы заключалась в системном подходе к разработке технологии получения высококачественных валковых чугунов, в том числе проведении серии промышленных экспериментов по исследованию влияния типа плавильного агрегата и применяемых модификаторов на структуру и твердость чугуна рабочего слоя сортопрокатных валков разных исполнений.

Основные результаты исследования

Системный подход при анализе технологии производства литых сортопрокатных валков, проведенном в условиях ОАО «Днепропетровский завод прокатных валков», показал, что при использовании различных индукционных печей, свойства валков отличаются. Твердость отливок, изготовленных из расплавов, полученных в более

высокочастотных печах, была ниже, чем из расплавов, полученных в печах с меньшей частотой работы индуктора. При этом такие условия, влияющие на твердость валков, как химический состав расплавов и режимы охлаждения отливок в формах оставались постоянными.

Наиболее характерными были различия твердости материала бочек сортопрокатных валков из хромоникелевого чугуна с пластинчатым графитом (табл. 1).

Таблица 1

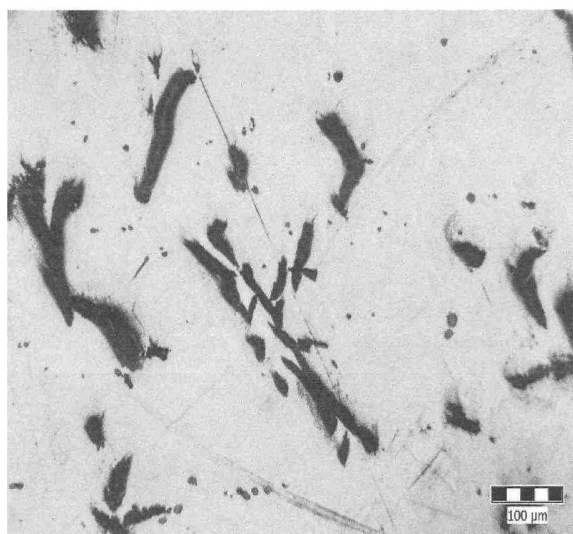
Химический состав чугуна исследованных
сортопрокатных валков

Номер валка	Содержание химических элементов, масс. %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
1	2.90	0.66	0.60	0.250	0.060	0.70	0.94
2	3.05	0.66	0.65	0.112	0.043	0.67	1.10
3	3.05	0.65	0.60	0.160	0.042	0.69	1.27
4	2.95	0.71	0.59	0.215	0.072	0.68	1.00

Сравнительный анализ этих валков с твердостью рабочего слоя 45...55 HSD, отлитых из расплавов, полученных в индукционных печах с частотой работы индуктора 180 Гц и 50 Гц, показал следующее.

При изготовлении валков из расплава, полученного в среднечастотной печи, было обнаружено снижение твердости чугуна рабочего слоя на 5...8 HSD по сравнению с валками, залитыми из металла, полученного в индукционной печи промышленной частоты. При этом химический состав материала валков был близок по значению и режимы кристаллизации одинаковыми. Исследование микроструктуры рабочего слоя валков №1 и №2, отлитых из среднечастотной печи, показало наличие более крупных графитных включений, чем в валках №3 и №4, отлитых из печи промышленной частоты. Длина графитных включений в валках №1 и №2 составляла от 90 до 180 мкм, форма графита – пластинчатая прямолинейная. В валках же №3 и №4 длина графитных включений была от 45 до 90 мкм, форма графита – пластинчатая прямолинейная, местами завихренная.

В результате для плавки металла в последующем для получения необходимой твердости рабочего слоя валков этих исполнений была произведена корректировка химического состава, а именно повышено содержание хрома в расплаве.



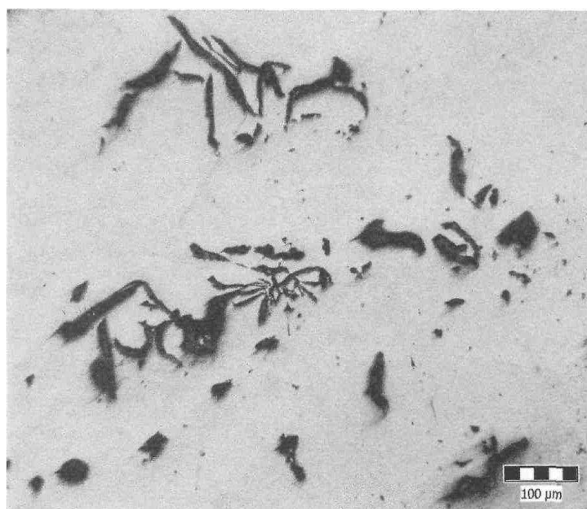
Валок №1

Твердость: 49/5 47/25-50



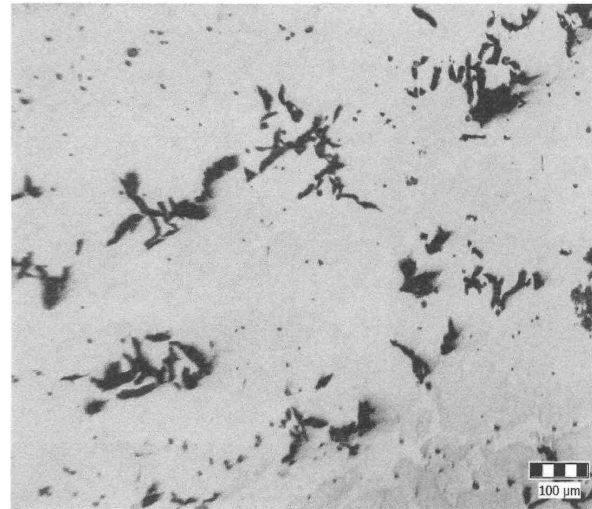
Валок №2

Твердость: 48/5-25 47/50-75



Валок №3

Твердость: 57/5-25 53/50 50/75



Валок №4

Твердость: 54/5 51/25-50 48/75

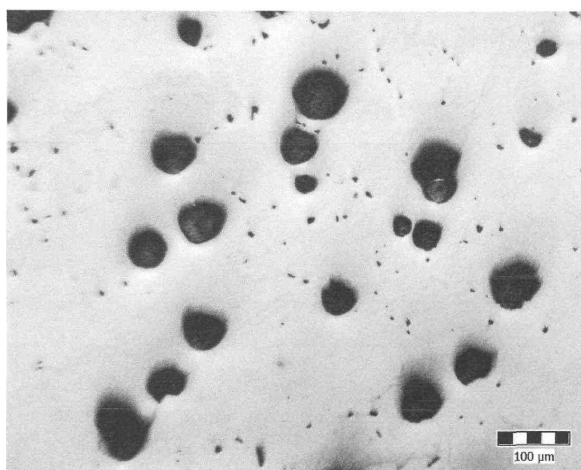
Рисунок 1 – Микроструктура материала исследованных прокатных валков: валки №№ 1 и 2 были отлиты из чугуна, полученного в среднечастотной печи, №№ 3 и 4 – в печи промышленной частоты

На сортопрокатных валках из высокопрочного хромоникелевого чугуна (табл. 2) влияние типа печи не было столь значительным. Возможно, это было связано с последующей внепечной обработкой чугунного расплава. Структуры материала рабочего слоя валков этого исполнения были близкими по размерам включений графита (рис. 2). Твердость рабочего слоя валков также отличалась незначительно.

Таблица 2

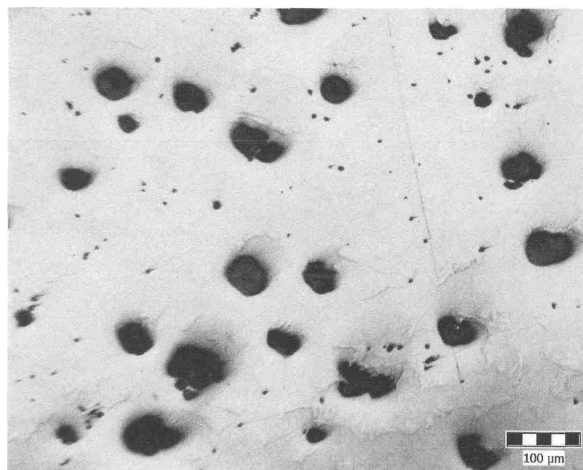
**Химический состав сортопрокатных валков из высокопрочного
хромоникелевого чугуна**

Номер валка	Содержание химических элементов, масс. %						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
6	3.13	1.83	0.58	0.129	0.009	0.38	0.98
7	2.98	1.81	0.61	0.140	0.008	0.40	0.98



Валок №6

Твердость: 49/5 48/25-50 46/75



Валок №7

Твердость: 47/25-50 46/70

Рисунок 2 – Микроструктура материала исследованных прокатных валков: валок № 6 был отлит из чугуна, полученного в среднечастотной индукционной печи,

№7 – в индукционной печи промышленной частоты

Причины такого влияния печей с различной частотой работы до конца не выяснены. Работа в данном направлении продолжается.

В последнее время валки исполнения СШХН имеют низкую степень «шаровидности» графита в чугуне, несоответствующую требованиям действующих технических условий, что вызвано, очевидно, снижением качества шихтовых материалов. Возможными причинами недостаточной «шаровидности» графита в структуре валковых чугунов являются вредные примеси, высокое содержание серы и недостаточное графитизирующее модифицирование. Поэтому были проведены исследования по стабилизации модифицирующего эффекта магния.

Для решения этой задачи использовали модификаторы производства компании «Elkem AS» (химический состав модификаторов и их назначение приведено в табл. 3, а расход модификаторов – в табл. 4).

Таблица 3

Химический состав модификаторов и их назначение

Название (по сертификату)	Химический состав, масс. %							Назначение
	Si	Mg	Ca	PЗМ	Al	Ba	Fe	
Elkem Preseed Preconditioner (Пресид)	66.7	-	1.33	4.39 (Zr)	4.16	-	остальное	Графитизирующий модификатор для создания подложки
Elkem Elmag 5800 (Элмаг)	45.0	5.80	1.0	1.0	0.7	-	остальное	Сфероидизирующий модификатор
Elkem Foundrisil 75 Inoculant (Фоундрисил)	75.0	-	1.13	-	1.0	1.15	остальное	Графитизирующий модификатор

В заливочном ковше для модифицирования выложили «карман», для этого площадь дна ковша разделили на две равные части с помощью шамотного кирпича с высотой кладки 250-350 мм. В «карман» перед выпуском расплава засыпали ровным слоем присадку модификатора Elmag 5800, а сверху на этот слой давали мелкую чугуновую стружку (толщиной ~ 50 мм). Выпуск расплава производили так, чтобы первая порция металла попадала в часть ковша, противоположную «карману» (сливали ~ 2/3 металла). После окончания реакции чугуна с магнием, сливали остальной расплав и одновременно присаживали на струю металла графитизирующий модификатор Foundrisil 75.

Расход модификатора и место его ввода

Тип модификатора и место его ввода	Elkem Preseed (Пресид) (в печь)	Elkem Elmag 5800 (Элмаг) (в карман ковша)	Elkem Foundrisil 75 Inoculant (Фоундрисил) (на струю металла)
Количество, %	0,1%	1,1...1,3%	0,2%

В результате проведенных экспериментов в структуре бочек валков был получен шаровидный графит более высокого балла (ШГф 4,5 изредка ШГф3), чем в валках, модифицированных чистым магнием.

Выводы. Системный подход при анализе технологии производства литых сортопрокатных валков и разработке способа получения расплавов позволил установить влияние типа плавильного агрегата на структуру и твердость чугуна рабочего слоя прокатных валков разных исполнений, а также разработать технология комплексного модифицирования валкового расплава исполнения СШХН. Применение разработанного технологического процесса позволяет уменьшить расход легирующих и модифицирующих элементов при плавке валковых чугунов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ТУ У27.1–26524137–1291:2007. Валки чавунні для гарячого прокатування металів. На заміну ТУ У 27.1–00190319–1291–2002; Чинний з 01.02.2008. Х., 2007. 29 с.
2. Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом / Э.В.Захар-ченко, Ю.Н.Левченко, В.Г.Горбенко, П.А.Вареник. К.: Наук. думка, 1986. 248 с.

Получено 22.01.2011г.

СИСТЕМНІ АСПЕКТИ ПОВЕДІНКИ РОЗРОБНИКА ІНТЕГРОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВОМ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Анотація. Розглянуті методологічні аспекти поведінки розробника ІКСКВ, які дозволяють йому бути самостійним, ініціативним, тримати всі аспекти розробки ІКСКВ в своїх руках, бути на голову вище замовника, передбачати всі шляхи оптимізації розробки, її успішної експлуатації.

Ключові слова: система, інженер, триєдинство, інформатика, модель, система праці, предмет праці, засіб праці, розробник, замовник.

Актуальність теми. Зараз з приходом ринкових відносин з появою конкуренції на робочі місця необхідністю самостійного влаштування актуальною є проблема активної життєвої позиції спеціаліста в області систем інформаційних технологій.

Аналіз літературних джерел. Згідно [4], інженер є дослідником, проектувальником і адміністратором будь-якого виробничого процесу. Такий фахівець повинен формуватися на стадії навчання в конкретній галузі знань.

Спочатку слід узгодити розробнику свою «точку зору» з «точкою зору» замовника при розробці технічного завдання (ТЗ) на проектування інтегрованої комп'ютерної системи керування виробництвом (ІКСКВ) на тривалий строк експлуатації.

Відповідно до [5] розробник і замовник повинні розробити технічне завдання на проектування інформаційної системи.

Постановка задачі. Необхідно використовувати комплекс системних моделей діяльності інженера, які містять зручні описання систем різної природи

Рішення задачі. При розробці проекту ІКСКВ слід прийняти до уваги необхідність використання «триєдності інформатики» [1] у вигляді «модель-алгоритм-програма» [4].. Очевидно, що в якості «моделі» тут повинно використовуватися системне уявлення взаємодії «замовника» (S_1) та «розробника» (S_2) у вигляді рис. 1:

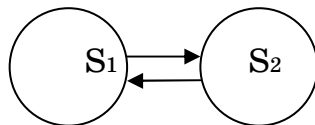


Рисунок 1 - Модель взаємодії «замовника» (S_1) та «розробника» (S_2)

повинен урахувати процес взаємодії «замовника» і «розробник» на всіх етапах створення ІКСКВ. Очевидно, що замовник і розробник є різними фахівцями, мають різний кругозір, переслідують різні цілі. Але відповідно до системного уявлення вони повинні досягнути певної спільності у взаєморозумінні професійних особливостей кожного, виробітку інтегральних уявлень при розробці конкретної ІКСКВ. Розробник обов'язково покаже можливі етапи розробки ІКСКВ, які за допомогою замовника приймуть конкретний вид реалізації. Однак замовник не може знати історії формування у розробника його сьогоденішнього ефективного підходу до розробки конкретної ІКСКВ. Тому є більша імовірність повтору замовником помилки у формуванні критеріїв ІКСКВ на «зорі» їх створення, коли кожний замовник формував комплекс параметрів-вимог на момент розробки ІКСКВ у вигляді локально обчислювальних мереж (ЛОМ) на індивідуальних кабельних системах (ІКС). Для компенсації відсутнього історичного професійного знання замовника, корисного для взаєморозуміння з розробником, слід ознайомити замовника з кривою ефективності ІКСКВ на ІКС і СКС у вигляді рис. 2.

Для більш «точного» взаєморозуміння в моделі рис.1, розробник повинен повідомити замовнику «узагальнений образ» своїх уявлень на кожному кроці проектування ІКСКВ у вигляді «системи праці». При цьому на кожному кроці повинні обговорюватися «предмет» («Що робиться?») і «засіб» («Чому робиться?») праці з використання «абстракції», зручних для кожного конкретного кроку проектної діяльності: $S_{\text{тр}1} \leftrightarrow S_{\text{тр}2} \leftrightarrow \dots \leftrightarrow S_{\text{тр}N}$.

При цьому загальна модель системи праці [2] ухвалює наступний зміст: предмет праці – той, якого навчають; засіб праці – комплекс знань по теорії та практиці ІКСКВ, їх проектуванню і експлуа-

тації; «керуюча функція» – організаційна структура лекційних, розрахункових і лабораторних занять.

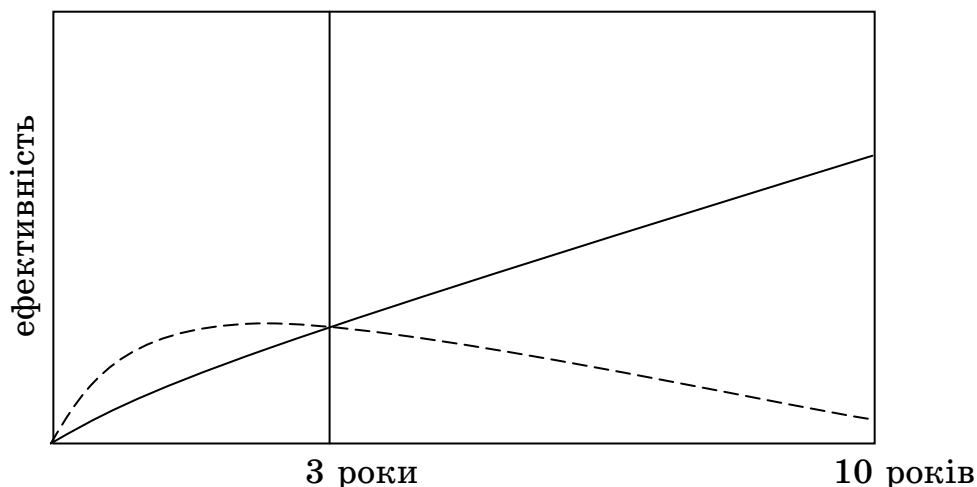


Рисунок 2 - Криві ефективності ІКСВ на ІКС (а) та СКС (б)

Розробка конкретних методологічних аспектів по сформульованому узагальненому завданню в рамках системи праці здійснювалося шляхом дослідження особливостей позначених аспектів - цілей дослідження під час всієї роботи. При цьому звернена увага на об'єктивний хід «інтенсивності» (життєвий цикл) розробки окремих аспектів [3].

Ця модель реалізується в структурі дослідницької роботи: А – пошук і вибір у джерелах (книги, Інтернет) «відповідних знань»; Б – аналіз А з добором параметрів оцінок (якісних, кількісних); В – узагальнення Б у матрицях-кореляціях, графах-зв'язках, графічних залежностях.

Враховуючи модель життєвого циклу (рис. 3) слід звернути увагу на методологічний аналіз еволюції ІКСВ. На початку 80-х років почався розвиток (бурхливе створення локальних обчислювальних мереж (ЛОМ)) на основі індивідуальних кабельних систем (ІКС).

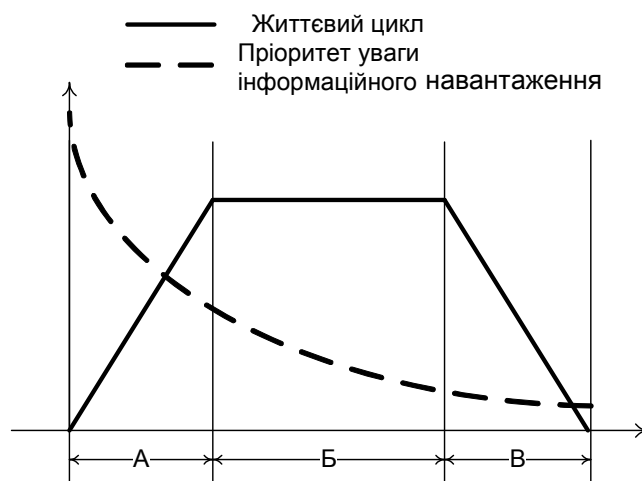


Рисунок 3 - Модель життєвого циклу розробки окремих аспектів роботи

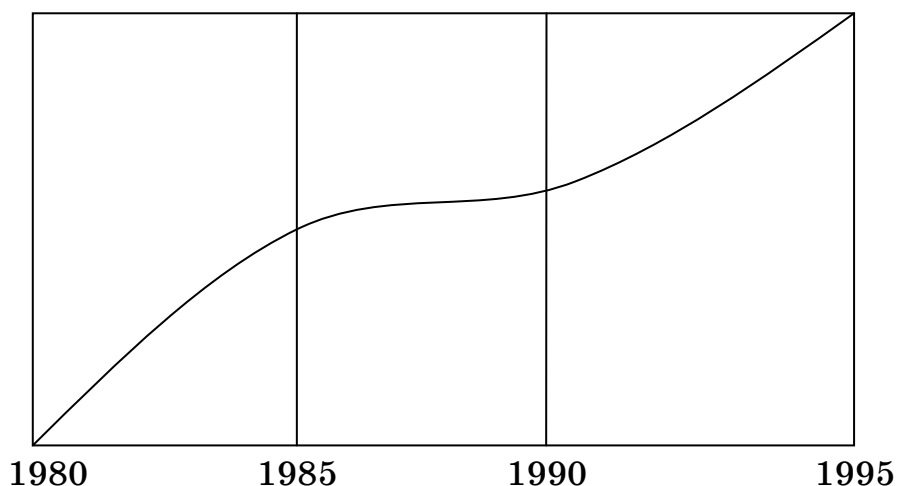


Рисунок 4 - Еволюція ЛОМ на кабельних системах

Умовно, з 1980 по 1985 рік, досить успішно працювали ІКС. Але надалі було помічено, що загальний дохід від розроблювальних ІКС падає через необхідність внесення частих змін по переміщенню робочих місць користувачів ЕОМ. При цьому очевидні загальні зупинки ЛОМ і додаткові втрати її ефективності. Так само очевидно, що ЛОМ на ІКС стає не завершеною розробкою в процесі експлуатації. У зв'язку із цим, системним фахівцям з аналізу діяльності фірм, було доручено досліджувати та визначити основні аспекти ЛОМ на ІКС сприятливі зниженню ефективності.

В 1987 р. системні фахівці Групи Гартнера (Gartner Group), американської організації по дослідженню проблем бізнесу, опубліку-

вали результати свого дослідження великої кількості фірм. Вони встановили, що в організаціях протягом року переміщається приблизно 22,5 %, а у великих фінансових організаціях у центрі міста до 200...400 % усіх працюючих. При цьому перемістити з місця на місце користувача комп'ютера коштує 1500 \$, а телефону - 300 \$. Настільки істотна різниця пояснюється тим, що куди б працівник не перемістився, телефонну розетку він знаходить відразу на новому місці, а користувачеві комп'ютера доводиться викликати бригаду монтажників, яка кілька годин прокладає спеціальний кабель і встановлює спеціальні розетки. При відсутності кабельної проводки для ЛОМ, аналогічної телефонної в рік губиться $0,225 * N * 1500$ \$, де N - число користувачів. Крім того, виявлені до 70 % простоїв ЛОМ через зупинку роботи ЛОМ, викликані неполадками в кабельній проводці. При цьому збитки становлять звичайно від 1 до 50 тис. \$ у годину. З обліком сказаного й того, що на кабельну систему доводиться не більш 5 % вартості ЛОМ, об'єктивно впливає висновок про необхідність розробки універсальної (стандартизованої) «структурованої кабельної системи» (КС), яка повинна створюватися по модульному принципу, незалежно від додатка і містити всі необхідні її розв'язки. В англomовній літературі для КС використовують терміни "generic" (універсальна) і "structured" (структурована), а для ІКС використовується слово "proprietary" (приватна).

Далі слід провести аналіз методології проектування ІКСКВ з використанням функціональної моделі праці та формування вимог до розробки ТЗ. Будь-яка діяльність – це праця [2]. Тому виконуємо загальну модель системи праці для кожного виду діяльності при проектуванні (рис. 5).

У моделі системи праці рис.3 конкретний зміст S предмет праці та S засіб праці призначаємо якісними критеріями оцінки видів проектної діяльності. Розробка має методичний напрямок. Тому необхідно побудувати модель праці, яка б дозволяла оцінювати якість розуміння видів проектної діяльності на основі рис. 5 (рис. 6).

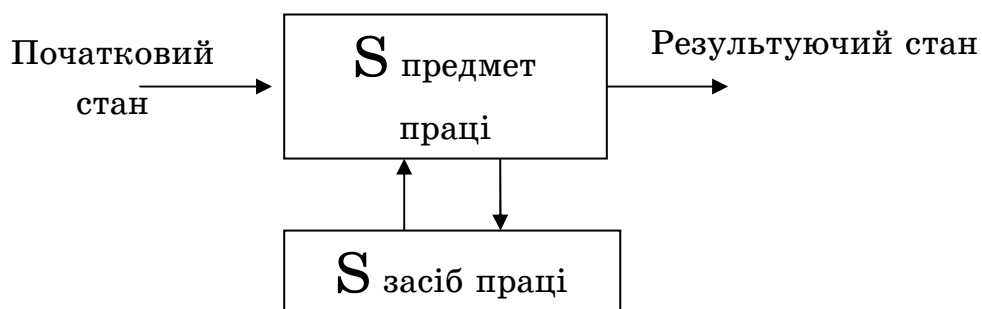


Рисунок 5 - Моделі системи праці при проектуванні

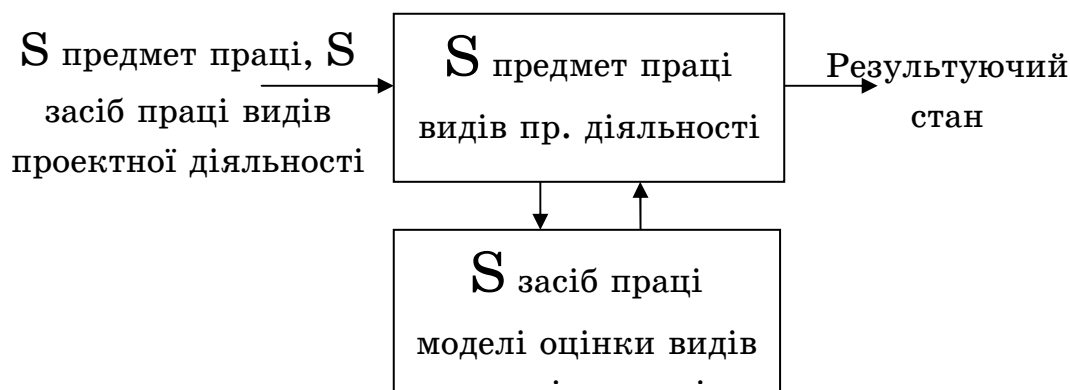
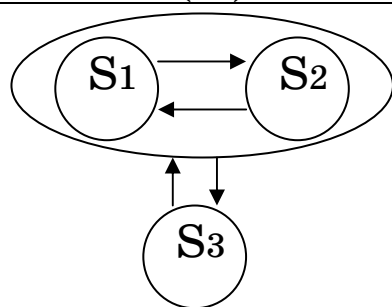


Рисунок 6 – Уточнена модель праці

На рис. 6 S видів проектної діяльності тотожно дорівнює S предмет праці та S засіб праці - моделі оцінки видів проектної діяльності по етапах проектування. S засіб праці моделі оцінки видів проектної діяльності відповідає логічним оцінкам «так», «ні», «конкретні оцінки», які можуть бути реалізовані у навчальному процесі у вигляді контрольних питань.

При конкретному формуванні ТЗ на ІКСКВ вважаємо, що в якості предмета праці визнаємо кількісний набір робочих місць, а в якості засобу праці - структурну модель будинку або комплексу ІКСКВ і норми площі на робоче місце згідно зі стандартами ISO 11801 та EN 50173.

Для уявлення загальної системної моделі по видам проектної діяльності зобразимо її (рис. 7).



S1 – вимоги стандартів до проектування ІКСКВ

S2 – конкретні вимоги проекрованої ІКСКВ та виконавця

S3 – вимоги якості взаємодії S1 та S2

Рисунок 7 - Загальна системна модель видів проектної діяльності

Для забезпечення якості розробки проектування інтегрованої системи керування виробництвом, виконуємо загальну модель розробки будь-якої системи у вигляді триєдності «модель – алгоритм – програма» [1]. При цьому «модель» триєдності є «предметом праці» для «системи праці» кожного виду проектної діяльності. Для загального уявлення моделі проектування та оцінки якості розробки етапів проектування, використовуємо матричну модель (табл. 1)

Таблица 1

Матрична модель оцінки якості розуміння етапів проектування

Етапи проектування	Види проектної діяльності	Якісні критерії предмета по способу праці	Оцінка якості розуміння етапів проектування
I	1	...	...
II	2		
III	3		
...	...		

Заклучна частина. Представлені методологічні аспекти поведінки розробника ІКСКВ, які дозволяють йому бути самостійним ініціативним, тримати всі аспекти розробки ІКСКВ в своїх руках, бути на голову вище замовника, передбачати всі шляхи оптимізації розробки, її успішної експлуатації.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краснощеков П.С., Петров А.А., Федоров В.В. Информатика и проектирование. б.м.: значение, 1986. с. 48.
2. Мардахаев А.А.. Охрана труда: история, теория, практика. Львов: "Вища школа", 1984.
3. Гук М. Аппаратные средства локальных сетей, Питер, С-П, 2000.
4. Горохов В.Г. Методологический анализ системотехники, М., «Радио и Связь», 1982.
5. Захаров В.Н., Поспелов Д.А., Хазацкий В.Е. Системы управления. Задавание. Проектирование. Реализация.—М.:Энергия.1977.—424 с.

Н.И. Твердоступ

ОБ УСЛОВИЯХ РЕАЛИЗАЦИИ ГИРАТОРА НА КОНВЕРТОРАХ ОТРИЦАТЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Аннотация. Для гиратора на конверторах отрицательного сопротивления определены условия согласования параметров элементов, обеспечивающих устойчивое инвертирование импеданса нагрузки.

Ключевые слова: гиратор, конвертор, импеданс, согласование параметров, инвертирование, нагрузка, входное сопротивление.

Вступление. Гиратором является всякий четырехполюсник, у которого импеданс на одной паре зажимов обратен импедансу, подключенному к другой паре зажимов [1]. В «классической» схеме гиратора на двух конверторах отрицательного сопротивления устойчивое инвертирование импеданса возможно только при тщательном согласовании параметров составляющих элементов [2, 3].

Постановка задачи. Целью настоящей работы является определение конкретных условий согласования параметров элементов гиратора для обеспечения эффективного преобразования характера импеданса.

Основная часть. Гиратор (см. рис.1) содержит два конвертора отрицательного сопротивления на элементах $DA1$, R'_2 , R'_3 , R'_4 и $DA2$, R_1 , R_2 , R_4 а также резистор связи R'_1 . Гиратор обладает свойством взаимности [2], поэтому импеданс нагрузки $\dot{z}_н$ можно подключать к любой паре зажимов $\dot{z}_{ex1}$ или $\dot{z}_{ex2}$. Рассмотрим, каким будет импеданс пары зажимов при подключении нагрузки к другой паре.

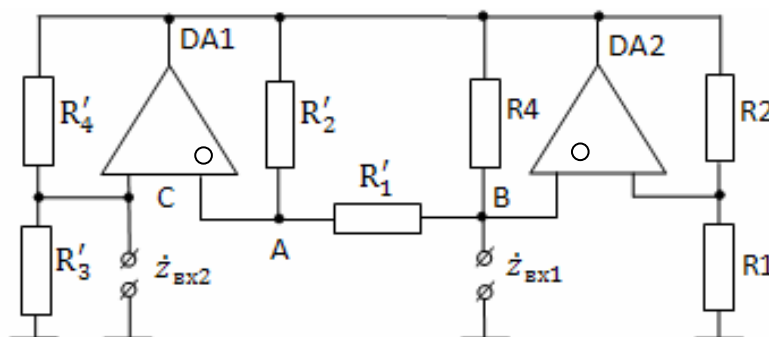


Рисунок 1 – Схема гиратора на конверторах отрицательного сопротивления

Подключим $\dot{z}_H$ к зажимам $\dot{z}_{ex2}$. Тогда входные импедансы конверторов будут иметь вид:

в точке А

$$\dot{z}_A = -\frac{\dot{z}_H R_2' R_3'}{R_4' (R_3' + \dot{z}_H)}, \quad (1)$$

в точке В

$$R_B = -\frac{R_1 R_4}{R_2} \quad (2)$$

а входное сопротивление гиратора со стороны зажимов

$$\dot{z}_{ex1} = \frac{R_B (\dot{z}_A + R_1')}{R_B + \dot{z}_A + R_1'}. \quad (3)$$

Выражение (3) с учетом (1) и (2) можно представить как

$$\dot{z}_{ex1} = \frac{R_B [\dot{z}_H (R_1' R_4' - R_2' R_3') + R_1' R_3' R_4']}{R_B' R_3' R_4' + R_B' \dot{z}_H R_4' + R_1' R_3' R_4' + \dot{z}_H (R_1' R_4' - R_2' R_3')}. \quad (4)$$

Это выражение при выполнении условия

$$R_1' R_4' = R_2' R_3' \quad (5)$$

и с учетом (2) преобразуется к виду

$$\dot{z}_{ex1} = \frac{R_1 R_4 R_1' R_3' R_4'}{R_3' R_4' (R_1 R_4 - R_1' R_2) + R_4' R_1 R_4 \dot{z}_H}. \quad (6)$$

Если выполняется условие

$$R_1 R_4 = R_1' R_2, \quad (7)$$

то выражение (6) принимает окончательный вид уравнения гиратора, изменяющего характер импеданса нагрузки $\dot{z}_H$.

$$\dot{z}_{ex1} = \frac{R_1' R_3'}{\dot{z}_H}. \quad (8)$$

Действительно, если в качестве $\dot{z}_H$ используется, например, индуктивность L_H , то

$$\dot{z}_{ex1} = \frac{R_1' R_3'}{j\omega L_H} = \frac{1}{j\omega C_{ex1}},$$

отсюда $C_{ex1} = L_H / R_1' R_3'$, что показывает емкостной характер импеданса на зажимах $\dot{z}_{ex1}$, обратный импедансу на зажимах $\dot{z}_{ex2}$.

Следует отметить, что уравнение гиратора (8) справедливо только при одновременном выполнении условий (5) и (7).

Рассмотрим входной импеданс гиратора на зажимах $\dot{z}_{ex2}$ при подключении нагрузки $\dot{z}_n$ к зажимам $\dot{z}_{ex1}$. В этом случае входной импеданс конвертора DA2 в точке В с учетом параллельно подключенной нагрузки $\dot{z}_n$ равен [4]

$$\dot{z}_B = - \frac{R_1 R_4 \dot{z}_n}{R_2 \left(\dot{z}_n - \frac{R_1 R_4}{R_2} \right)},$$

в точке А импеданс равен

$$\dot{z}_A = R'_1 - \frac{R_1 R_4 \dot{z}_n}{R_2 \dot{z}_n - R_1 R_4}.$$

Конвертор на DA1 преобразует $\dot{z}_A$ в импеданс, который в точке С имеет вид

$$\dot{z}_C = - \frac{R'_4}{R'_2} \left(R'_1 - \frac{R_1 R_4 \dot{z}_n}{R_2 \dot{z}_n - R_1 R_4} \right).$$

Так как R'_3 подключен параллельно $\dot{z}_C$, то входная проводимость гиратора имеет вид

$$\frac{1}{\dot{z}_{ex2}} = \frac{R'_2 (R_2 \dot{z}_n - R_1 R_4)}{R'_4 [\dot{z}_n (R_1 R_4 - R'_1 R_2) + R_1 R_4 R'_1]} + \frac{1}{R'_3}. \quad (9)$$

Из выражения (9) следует, что при одновременном выполнении условий (5) и (7) входной импеданс гиратора со стороны зажимов $\dot{z}_{ex2}$ равен

$$\dot{z}_{ex2} = \frac{R'_1 R'_3}{\dot{z}_n}, \quad (10)$$

и полностью совпадает с (8). Это подтверждает симметричность гиратора, возможность равноценного подключения нагрузки к любой паре зажимов.

Основным фактором, определяющим качество инвертирования импеданса нагрузки, является выполнение условий (5) и (7), сводящееся к точности выбора сопротивлений указанных резисторов. При нарушении этих условий в гираторе возможно также возникновение паразитных колебаний из-за самовозбуждения, ибо, как следует из (4), (6) и (9), в составе входного импеданса при этом одновременно

появляются отрицательная активная, индуктивная и емкостная составляющие.

Вывод. Проведенный анализ гиратора на конверторах отрицательного сопротивления позволил получить условия согласования параметров составляющих элементов в виде аналитических выражений. Расчет по предложенным выражениям обеспечивает устойчивое инвертирование импеданса нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Седов К.И. Введение в синтез активных цепей. – Л.: Энергия, 1973. – 152 с.
2. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: в 2 т.: пер с нем. – Т.2. – М.: Додэка - XXI, 2008. – 942 с.
3. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Додэка - XXI, 2005. – 528 с.
4. Твердоступ Н.И. О функционально полном наборе входных импедансов комбинированной операционной схемы // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 6(64). – Днепропетровск, 2005. – с.47 – 53.

Получено 23.01.2011г.

В.В. Говоруха, А.В. Говоруха

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УПРУГИХ ПРОКЛАДОК ПРОМЕЖУТОЧНОГО РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ ПУТЕВОЙ СТРУКТУРЫ

Аннотация. Рассматриваются методы исследований упругости элементов рельсового пути железнодорожного, промышленного и подземного транспорта. Приведены характеристики эластомерных прокладок промежуточного скрепления путевой структуры, полученные теоретическим методом и экспериментально.

Ключевые слова: путевая структура, промежуточное скрепление, эластомерные прокладки, метод конечных элементов, нагрузки, деформации, напряжения.

Введение

Современная конструкция рельсового пути подземного, промышленного и железнодорожного транспорта должна обеспечивать безопасность при повышенных скоростях движения, а также иметь повышенный ресурс работы как конструкции пути в целом, так и всех ее составных элементов. При этом работоспособность каждого составного элемента пути является определяющим фактором для всей путевой структуры, поскольку при капитальных ремонтах заменяется вся рельсошпальная решетка, а не отдельные ее элементы. Из этого следует важность обеспечения одинакового срока службы всех частей конструкции не зависимо от функционального назначения каждой из них.

Одними из наиболее нагруженных, напряженных и разрушаемых элементов конструкции путевой структуры являются упругие прокладки промежуточного рельсового скрепления.

Правильно сконструированные упругие прокладки благодаря своим свойствам и функциям снижают напряженно-деформированное состояние всех элементов рельсового пути за счет равномерного перераспределения силового воздействия от подвижного состава на большее количество опорных элементов, т.е. шпал. Вместе с тем упругие прокладки промежуточного рельсового скрепления являются аморти-

затрами колебаний всей транспортной системы, уменьшающими нагруженность и вибрации.

Именно этими физико-механическими свойствами определяются основные технические требования к упругим прокладкам промежуточного рельсового скрепления.

Этой важной проблеме посвящено большое количество исследований и публикаций, среди которых следует отметить работы Л.Г. Крысанова, Н.И. Карпущенко, Н.И. Антонова, В.С. Лысюка, Г.М. Шахунянца, М.А. Фришмана, Б.А. Евдокимова, Е.М. Бромберга, М.Ф. Вериги, В.Н. Данилова, А.А. Демидова, В.Б. Каменских, Л.В. Башкатова [1-2 и др.].

В монографии [3] изложены методы расчета напряженно-деформированного состояния упругих прокладок, представлены результаты определения вязкоупругих свойств прокладок и методы прогнозирования их долговечности с учетом нестабильности механических характеристик в процессе эксплуатации.

В дальнейшем необходимо более детально исследовать характеристики усталости, прочности и деформируемости элементов конструкции промежуточных скреплений, которые зависят от характера распределения, формы и физико-механических свойств эластомерных прокладок.

Постановка задачи

Целью работы является исследование влияния параметров рифлей и форм контактной поверхности эластомерных прокладок рельсового промежуточного скрепления на их напряженно-деформированное состояние на основе реализации метода конечных элементов с подтверждением экспериментальными исследованиями.

Форма и размеры контактной поверхности эластомерных прокладок не должны допускать полного заполнения их материалом даже при максимальных нагрузках от подвижного состава на промежуточное рельсовое скрепление, включая наиболее нагруженный его элемент прокладку. В крайнем случае, вертикальная жесткость прокладок будет иметь характеристики плоского листа из эластомерного материала. Вместе с этим контактные опорные поверхности прокладок не должны ослабляться рифлениями до такого состояния, чтобы давления на контактных поверхностях, напряженно-деформированное

состояние рифлей и конструкции прокладки в целом превышали допустимые значения.

Определение упругих характеристик эластомерных прокладок экспериментальным методом

Для выполнения функции упругого элемента и амортизатора эластомерные прокладки должны иметь рациональную форму для обеспечения рациональной вертикальной жесткости, а также внутреннего трения и напряжения в материале.

Укладкой в путь эластомерных прокладок рациональной упругости можно существенно уменьшить неравномерность накопления остаточных деформаций рельсового пути. Если за рациональную жесткость промежуточных рельсовых скреплений принять такую, при которой наблюдается равенство значений интенсивности накопления остаточных деформаций при железобетонных и деревянных шпалах, то для безстыкового и стыкового пути она примерно составляет 10,0–120,0 кН/мм.

Такую жесткость промежуточных скреплений можно получить посредством укладки в путь резиновых напальных прокладок толщиной 10,0–14,0 мм, подрельсовых резиновых прокладок толщиной 7,0–9,0 мм, а также полиуретановых прокладок толщиной 7,0–8,0 мм.

Упругие свойства эластомерных прокладок или промежуточных скреплений в целом необходимо оценивать динамической жесткостью, которая по результатам экспериментальных исследований [4], значительно больше статической жесткости вследствие увеличения скорости приложения вертикальной поездной нагрузки. В этом случае также реализуются силы внутреннего трения в материале прокладок, препятствующие мгновенному развитию высокоэластичной деформируемости. В связи с этим первоначальная толщина прокладок не восстанавливается, так как период приложения динамической нагрузки значительно меньше, чем период полного восстановления исходных размеров прокладок (см. рис. 1).

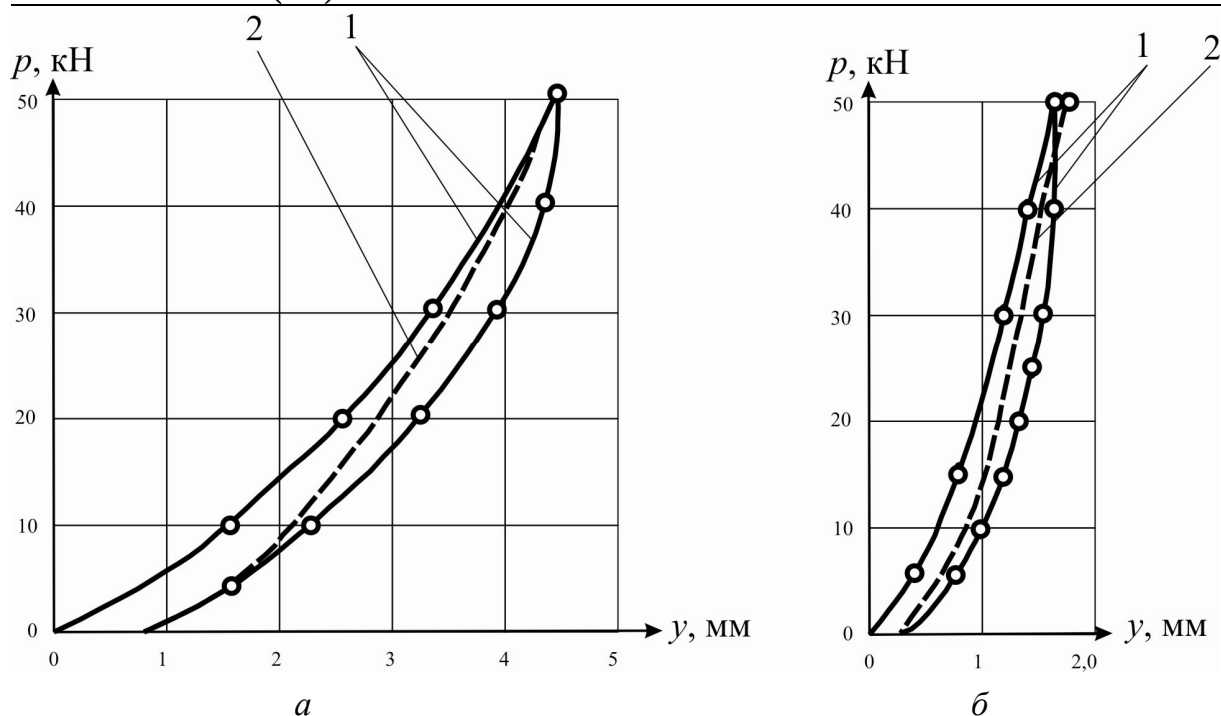


Рисунок 1 – Зависимость перемещений пути от статических (1) и динамических (2) нагрузок: *а* – шпалы деревянные; *б* – шпалы железобетонные

При определении характеристик упругости прокладок из различных материалов, включая различные марки резины, полиуретана, полиамида, необходимо учитывать влияние формы рифлей, как контактной поверхности, так и глубинной части прокладок.

На рис. 2, *а, б* показаны эластомерные прокладки синусоидальной (*в*) и трапециодальной (*г*) формы рифлей, изготовленные на заводах Украины [3; 5; 6] из полиуретана.

На рис. 2, *д, е* показаны соответственно силовые характеристики опытных образцов прокладок синусоидальной и трапециевидной формы рифлей, полученные при экспериментальных исследованиях образцов. При этом величина упругой деформации полиуретановых прокладок при статическом «нагружении-разгрузении» величиной нагрузки от 0,0 до 100,0 кН составляет 3,00-3,10 мм.

На рис. 3, *а, б* показаны эластомерные шумопоглощающая и протекторная прокладки. На рис. 3 *д, е* показаны соответственно силовые характеристики опытных образцов этих прокладок, полученные при экспериментальных исследованиях образцов. Величина упругой деформации опытных резиновых прокладок при статическом

«нагружении-разгрузке» величиной нагрузки от 0,0 до 100,0 кН составляет 4,00-4,15 мм.

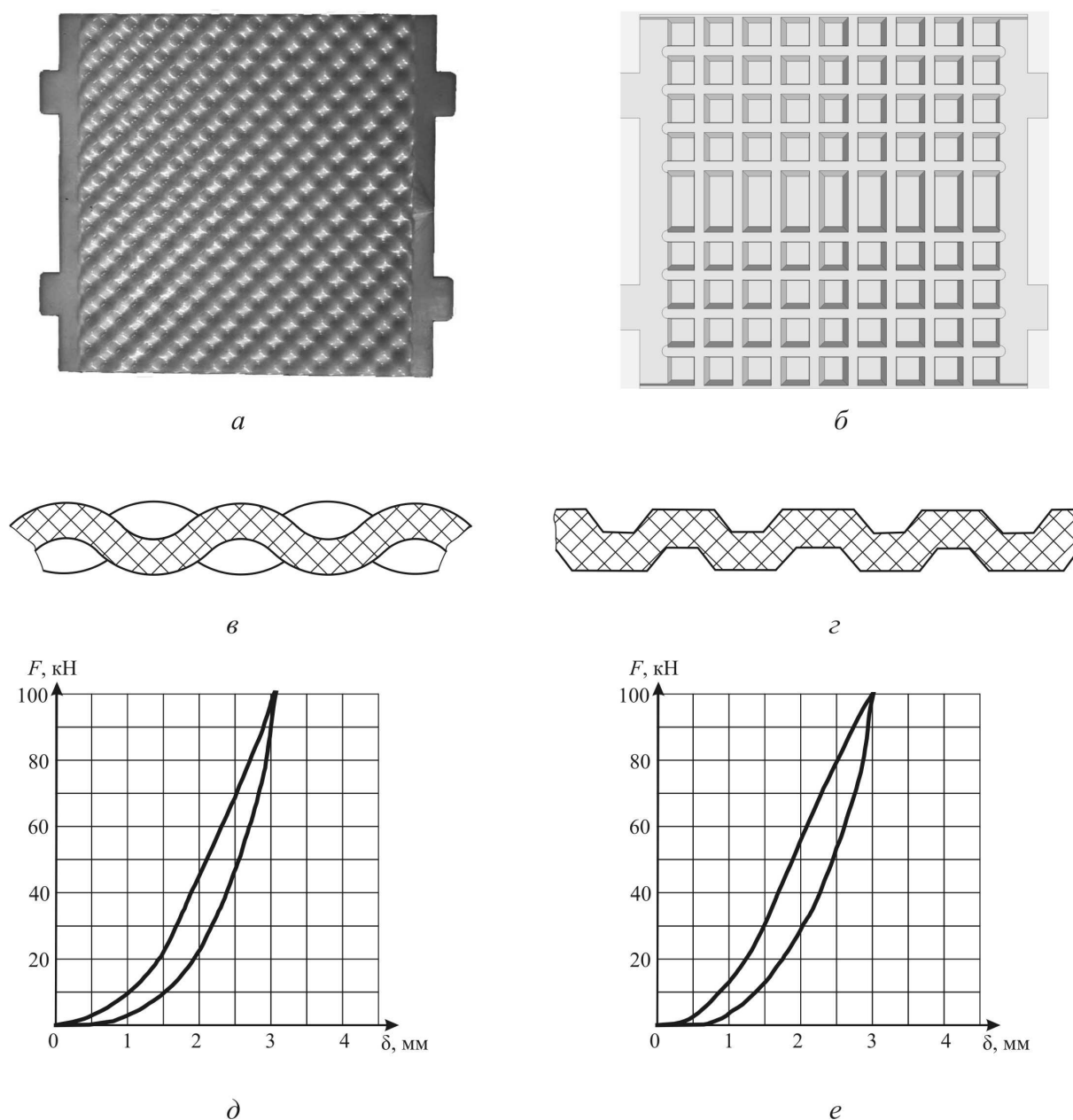


Рисунок 2 – Эластомерные прокладки с различной формой рифлей, изготовленные из полиуретана:

a – с синусоидальными рифлями вида (в); $б$ – с трапециевидными рифлями вида (г); $д$, $е$ – силовые характеристики процесса нагружения-разгрузки прокладок с синусоидальными и трапециевидными рифлями соответственно

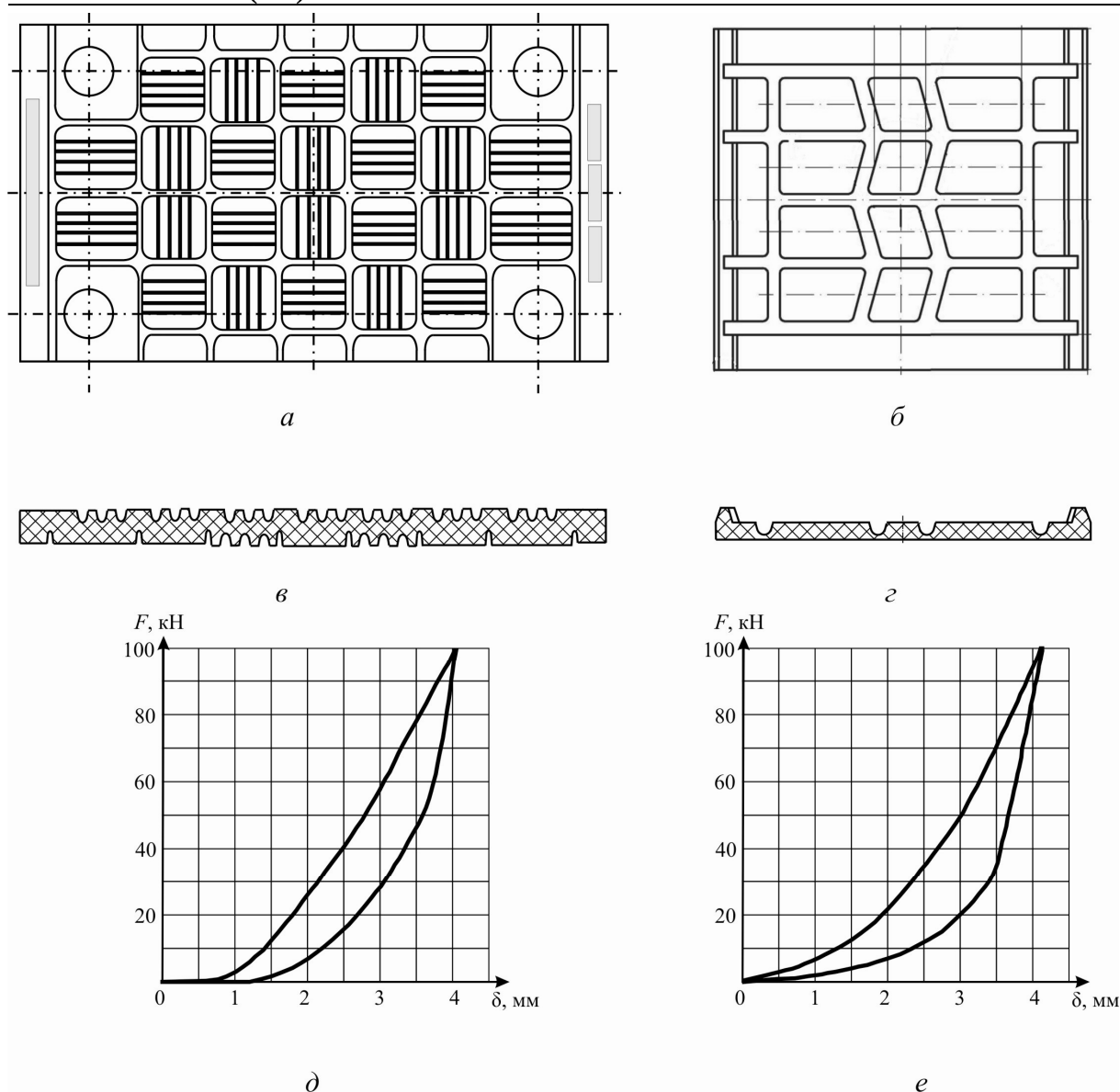


Рисунок 3 – Эластомерные прокладки с различной формой рифлей, изготовленные из резины:

a – нащпальная прокладка с квадратными рифлями вида (*в*);
б – подрельсовая прокладка с протекторными рифлями вида (*г*); *д*,
е – силовые характеристики процесса нагружения-разгружения прокладок с квадратными и протекторными рифлями соответственно

Определение напряженно-деформированного состояния эластомерных прокладок

Определение напряженно-деформированного состояния эластомерных прокладок железнодорожного, промышленного и подземного рельсового транспорта при создании новых конструкций базировалось

на методах последовательных приближений с изменением граничных условий [9], а также прогнозирования долговечности вязкоупругих элементов рельсового пути с учетом нагруженности, прочности, деформируемости и разрушения [3; 10; 11].

Данная задача имеет физическую нелинейность, так как в качестве материала прокладки использовались полиуретан или резина.

Кроме этого имеет место геометрическая нелинейность, вызванная следующими факторами: наличием рифлей и переменных геометрических параметров конструкции прокладок; изменение площади поверхности контакта прокладки с подошвой рельса и шпалы, а также деформируемостью прокладки от нагрузки.

Решение задачи осуществлялось с использованием метода конечных элементов (МКЭ), программного комплекса SCAD и метода последовательных приближений с изменением граничных условий [9].

Для обеспечения высокой точности исследований при изменении указанных выше параметров и характеристик предусмотрено использование переменных граничных условий исследуемых эластомерных прокладок.

При решении задачи соблюдения граничных условий использовалась концепция метода сил.

Нагружение исследуемых прокладок производилось поэтапно ввиду дискретности конечно-элементной модели и нелинейности жесткостной характеристики прокладок. На каждом этапе нагружения соблюдались условия удовлетворения граничных условий.

На рис. 4 *а, б, в* показаны поля распределения нормальных напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$, а на рис. 5, *а, б, в* показаны поля распределения касательных напряжений $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ для прокладки, представленной на рис. 2, *а*.

В табл. 1 приведены результаты квазистатического расчета прокладки, показанной на рис. 2, *а*, от действия вертикальных нагрузок F (кН). Где σ_p^{IV} – напряжения, полученные по IV (энергетической) теории прочности; E – расчетный модуль упругости прокладки; k – квазилинейная расчетная жесткость прокладки.

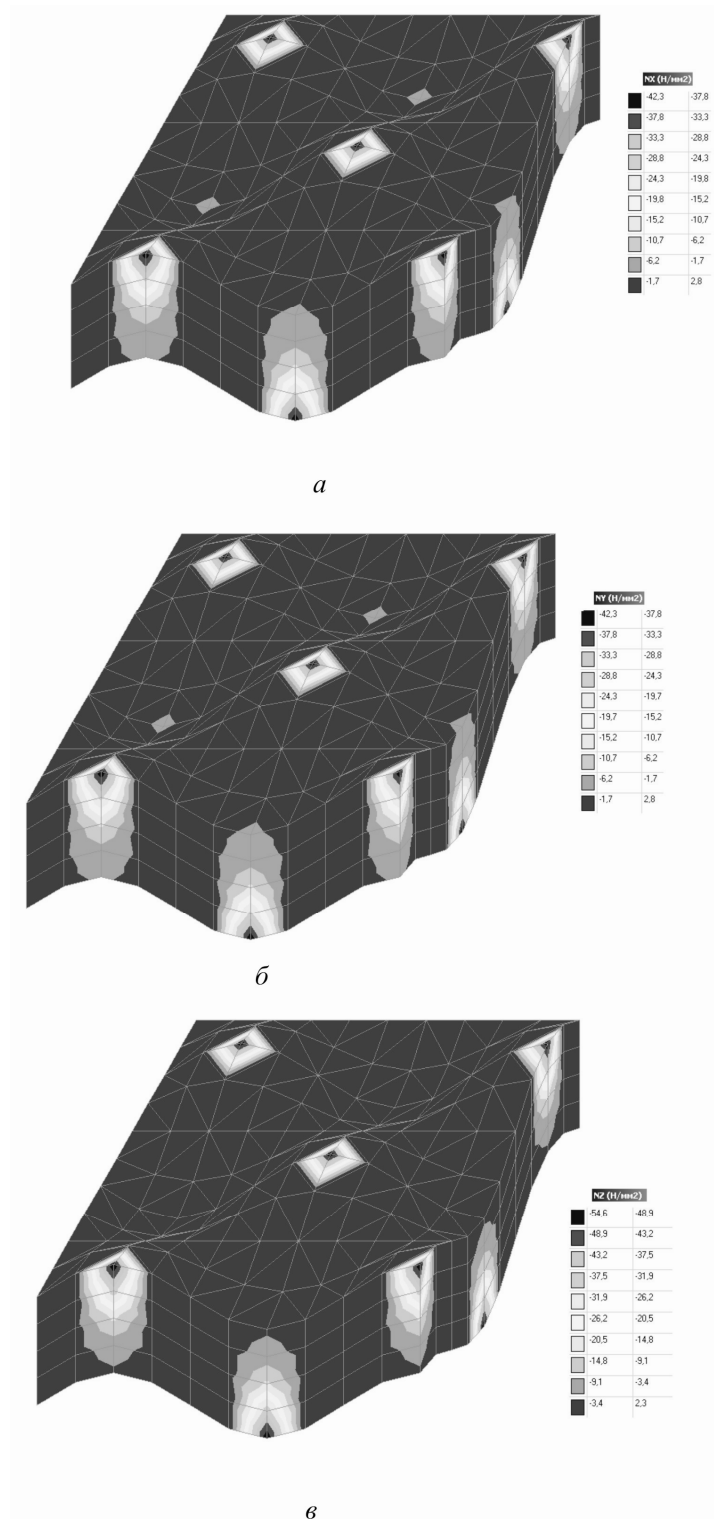


Рисунок 4 – Поля нормальных напряжений в средней части прокладки от действия сжимающей силы:

а – поля нормальных напряжений σ_x (МПа); *б* – поля нормальных напряжений σ_y (МПа); *в* – поля нормальных напряжений σ_z (МПа)

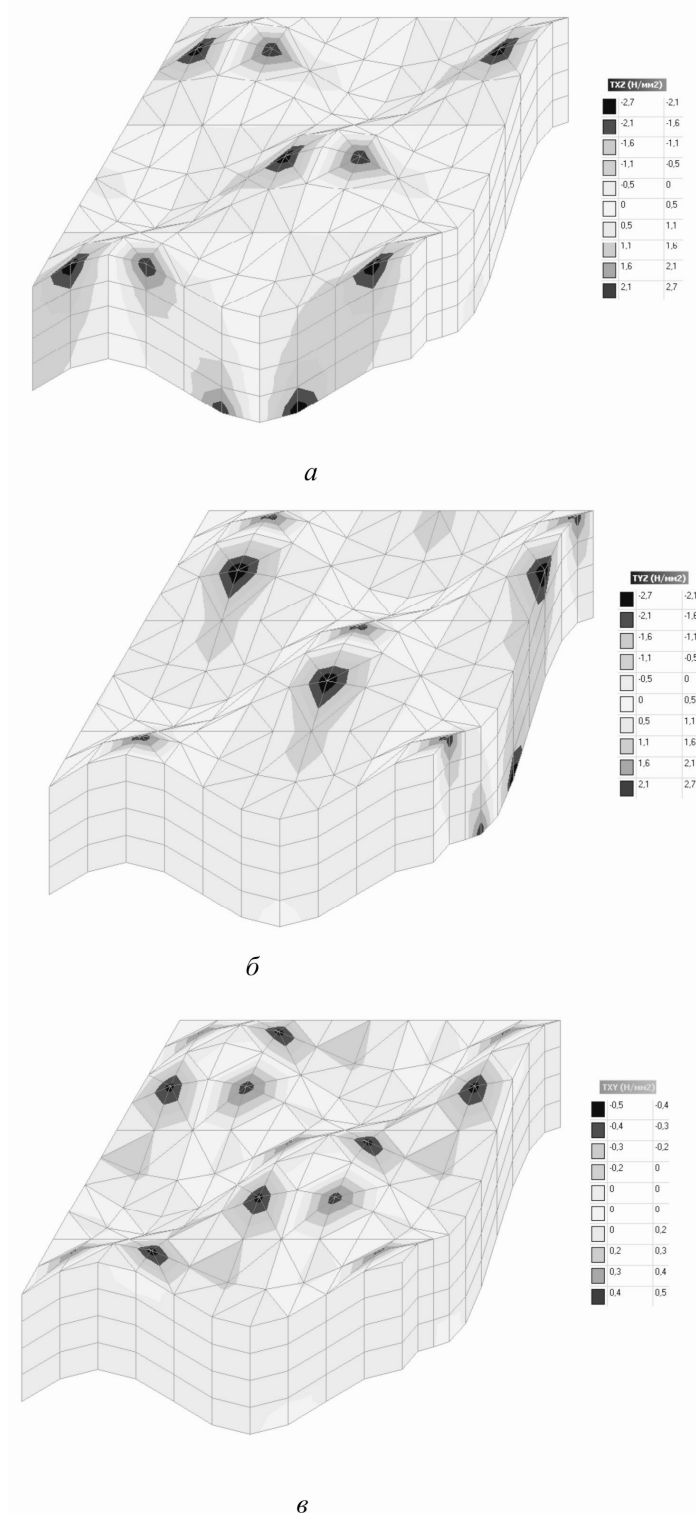


Рисунок 5 – Поля касательных напряжений в средней части прокладки от действия сжимающей силы:

a – поля касательных напряжений τ_{xz} (МПа); *б* – поля касательных напряжений τ_{yz} (МПа); *в* – поля касательных напряжений τ_{xy} (МПа)

Используя допустимые значения прочности и упругости под-
рельсовых и нашпальных эластомерных прокладок по различным ра-
бочим сечениям, с учетом рифлей и переменных геометрических раз-
меров конструкции, создан ряд эластомерных прокладок для путевой
структуры рельсового транспорта [3; 5-8].

Таблица 1

**Результаты квазистатического расчета прокладки
от действия вертикальных нагрузок**

F, кН	Δ , мм	$\sigma_x \sigma_1$, МПа	σ_y (σ_2), МПа	σ_z (σ_3), МПа	σ_p^{IV} , МПа	τ_{xy} , МПа	τ_{xz} , МПа	τ_{yz} , МПа	E, МПа	k кН/мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15,73	1,023	-42,3	-42,3	-54,6	12,3	0,5	2,7	2,7	78,7	15,38
42,21	1,7972	-23,9	-23,9	-34,2	10,3	0,7	3,4	3,4	48,3	34,2
103,1	3,0463	-27,0	-27,0	-43,2	16,2	1,3	7,3	7,3	57,4	48,75
132,2	3,5993	-15,1	-15,2	-22,4	7,3	1,4	4,8	4,8	27,9	52,62
144,4	3,7895	-14,0	-14,0	-21,2	7,2	1,6	4,4	4,4	24,04	64,14
199,9	4,2224	-14,3	-14,3	-22,5	8,2	2,4	4,0	4,0	20,05	128,21

Выводы

Рассмотрены методы исследований напряженно-деформированного состояния эластомерных прокладок промежуточного скрепления рельсового пути.

Для исследования напряженно-деформированного состояния отдельных рифлей и прокладок в целом использованы модифицированная конечно-элементная программа SCAD с применением метода конечных элементов (МКЭ) и метода последовательных приближений с изменением граничных условий при физической и геометрической нелинейности.

Стендовые исследования подтвердили работоспособность упругих эластомерных прокладок при циклическом «нагружении-разгрузении».

Предложенный метод определения характеристик эластомерных прокладок промежуточных рельсовых скреплений является перспективным для дальнейших исследований и применения в практическом использовании при создании новых конструкций эластомерных прокладок путевой структуры рельсового транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение надежности работы верхнего строения пути в современных условиях эксплуатации: Сб. научн. тр. / Под ред. Л.Г. Крысанова. – М.: Интекст, 2000. – 142 с.
2. Карпущенко Н.И. Совершенствование рельсовых скреплений / Н.И. Карпущенко, Н.И. Антонов. – Новосибирск: Изд-во СГУС, 2003. – 300 с.
3. Говоруха В.В. Механика деформирования и разрушения упругих элементов промежуточных рельсовых скреплений / В.В. Говоруха: Моногр. – Днепропетровск: Лира, 2005. – 388 с.
4. Динамика и прочность шахтных транспортных сосудов / Е.Е. Новиков, Е.Ф. Земляной, В.В. Говоруха и др. – Киев: Наук. думка, 1983. – 152 с.
5. Деклараційний патент на винахід. Україна (UA) МКП⁷ E01B9/54. Прокладка / В.В.Говоруха, М.Д. Костюк, Я.В. Дубневич. – № 49767А; Заявлено 13.06.2002. Опубл. 19.09. 2002, Бюл.»№ 9. – 3 с.
6. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП 12-99. Прокладка підрейкова / В.В. Говоруха-№ 17119; Заявлено 12.05.2008; Опубл. 11.08.2008, Бюл. № 15. - 6 с.:іл. 5.
7. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП E01B 9/68. Прокладка нашпальна проміжного рейкового скріплення / В.В. Говоруха. -№ 74975; Заявлено 16.08.2004; Опубл. 15.02.2006, Бюл. № 2. - 6 с.:іл. 3.
8. Патент на промисловий зразок Україна (UA) МКП 12-99. Прокладка гумова для рейкової колії / В.В. Говоруха, М.Д. Костюк, Я.В. Дубневич - № 7173; Заявлено 27.12.2002; Опубл. 17.03.2003, Бюл. № 3. - 1 с.:іл. 1.
9. Говоруха В.В. Метод определения рациональных параметров эластомерных подрельсовых прокладок для промежуточных рельсовых скреплений. Межвед. Сб. науч. трудов / Ин-т геотехн. механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 88. С. 219–234.
10. Говоруха В.В. Закономерность изменения интенсивности старения резины при ее циклическом деформировании / В.В. Говоруха, В.И. Дырда: Диплом № 220 на научное открытие. Заявка № А–262 от 23 дек. 2002 г. – М.: регистрац. 3 262 от 27 февр. 2003 г.
11. Говоруха В.В. Закономерность скачкообразного фазового перехода метастабильного состояния эластомеров к лабильному при циклическом нагружении, предшествующего их усталостному разрушению / В.В. Говоруха, В.И. Дырда: Диплом № 234 на научное открытие. Заявка на открытие № А–278 от 13 июня 2003 г. – М., регистрац. № 278 от 23 окт. 2003 г.

Получено 25.01.2011г.

О.О. Бейгул, Г.Л. Лепетова, А.Ю. Неділько

СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА НЕСУЧУ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЮ КЛІЩОВОГО КОЛОДЯЗНОГО КРАНА

Аннотация. Разработана математическая модель формирования нагрузок на агрегаты клещевого коловцевого крана, проанализировано влияние конструктивных параметров на максимальные амплитуды колебаний.

Постановка проблеми. Кліщові колодязні крани призначені для обслуговування нагрівальних печей колодязного типу, насамперед посадки зливків для їх нагрівання та видачі на зливковіз з метою транспортування до приймального рольганга обтискного стана. Крім того, колодязні крани виконують різні допоміжні операції, наприклад, очищення подин колодязів від шлаку за допомогою спеціальної лопати, відривання кліщами зливка, привареного до виливниці, піднімання зливка, який упав на подину печі.

Як це слідує з наведеного переліку, у колодязних кранах динамічні навантаження, які передаються на несучу металоконструкцію при підніманні, спусканні чи гальмуванні вантажів, не можуть бути розрахунковими, оскільки маса вантажа істотно менша власної маси візка. Найбільші значення у цих кранах мають навантаження, які пов'язані з падінням або перехватом зливків.

Аналіз досліджень і публікацій. Динаміка підйомно-транспортних машин, у тому числі мостових кранів досліджувалась багатьма вченими [1–5], але вони не могли враховувати цілий ряд обставин, притаманних саме кліщовим колодязним кранам. У роботах [6, 7] описані експериментальні дослідження формування динамічних навантажень на несучу металоконструкцію колодязних кранів в умовах металургійного виробництва, наведений аналіз специфічних умов формування навантажень на вузли та агрегати таких кранів, розроблені заходи по підвищенню надійності та довговічності конструкцій.

Невирішена частина загальної проблеми. Вище окреслена проблема потребує розробки математичної моделі формування динаміч-

них навантажень на несучу металоконструкцію кліщового колодязного крана, викликаних падінням чи перехватом зливка у кліщовому захваті, на базі якої можна розробляти раціональні за металомісткістю конструкції, надійні та довговічні.

Мета роботи, таким чином, полягає у виявленні особливостей навантаження та розробці відповідної математичної моделі формування технологічних навантажень на силові елементи несучої системи кліщового колодязного крана при характерних режимах експлуатації, пов'язаних з падінням та перехватом зливків у кліщових захватах.

Виклад основного матеріалу. Розрахунок динамічних навантажень, які викликані падінням чи перехватом зливка і діють на несучу металоконструкцію кліщового колодязного крана, виконується за допомогою двомасової розрахункової схеми [8].

Записуємо відповідну систему диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 &= -c_1 x_1 - c_2 (x_1 - x_2); \\ m_2 \ddot{x}_2 &= -c_2 (x_2 - x_1), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де m_1 – сумарна маса несучої металоконструкції та візка, кг; m_2 – сумарна маса вантажу та вантажозахватного пристрою, кг; c_1 – коефіцієнт поперечної жорсткості несучої металоконструкції крана, Н/м; c_2 – коефіцієнт поздовжньої жорсткості канатів механізму піднімання, Н/м.

Розв'язання системи рівнянь (1) має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= a_{11} \sin(p_1 t + \varphi_1) + a_{12} \sin(p_2 t + \varphi_2); \\ x_2 &= a_{11} \chi_{21} \sin(p_1 t + \varphi_1) + a_{12} \chi_{22} \sin(p_2 t + \varphi_2), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де a_{11} , a_{12} – амплітуди коливань по першій узагальненій координаті, викликаних коливаннями по першій та другій узагальнених координатах, відповідно, м;

p_1 , p_2 – перша та друга власні кругові частоти коливань, 1/с;

φ_1, φ_2 – фазові кути коливань по першій та другій узагальнених координатах;

χ_{21}, χ_{22} – коефіцієнти форми коливань.

Розв'язуючи відповідне частотне рівняння, отримуємо наступний вираз для квадратів власних кругових частот:

$$P_{2,1}^2 = 0,5 \left(\frac{c_1 + c_2}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \right) \pm \sqrt{\left[0,5 \left(\frac{c_1 + c_2}{m_1} + \frac{c_2}{m_2} \right) \right]^2 - \frac{c_1 c_2}{m_1 m_2}}, \quad (3)$$

або

$$P_{2,1}^2 = 0,5\Delta(\alpha + \gamma + 1) \pm \sqrt{[0,5\Delta(\alpha + \gamma + 1)]^2 - \alpha\psi}, \quad (4)$$

$$\text{де } \Delta = \frac{c_2}{m_1}, \quad \alpha = \frac{c_1}{c_2}, \quad \gamma = \frac{m_1}{m_2}, \quad \psi = \frac{c_2^2}{m_1 m_2}.$$

Коефіцієнти форми коливань мають наступний вигляд:

$$\chi_{21} = \frac{a_{21}}{a_{11}} = \frac{c_1 + c_2 - m_1 p_1^2}{c_2} = \alpha + 1 - \frac{p_1^2}{\Delta}; \quad (5)$$

$$\chi_{22} = \frac{a_{22}}{a_{21}} = \frac{c_1 + c_2 - m_1 p_2^2}{c_2} = \alpha + 1 - \frac{p_2^2}{\Delta}. \quad (6)$$

Скористаємося наступними початковими умовами: при $t = 0$ $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = 0$, $\dot{x}_1(0) = 0$, $\dot{x}_2(0) = v_0$. У цьому випадку $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$, а амплітуди коливань приймають наступний вигляд:

$$a_{11} = \frac{v_0}{p_1(\chi_{21} - \chi_{22})} = \frac{v_0 \Delta}{p_1(p_2^2 - p_1^2)}; \quad (7)$$

$$a_{12} = -\frac{v_0}{p_2(\chi_{21} - \chi_{22})} = \frac{v_0 \Delta}{p_2(p_2^2 - p_1^2)}. \quad (8)$$

Тоді переміщення мас можна записати так:

$$x_1 = \frac{v_0 \Delta}{p_1(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_1 t - \frac{v_0 \Delta}{p_2(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_2 t; \quad (9)$$

$$x_2 = \frac{(\alpha + 1 - p_1^2/\Delta) v_0 \Delta}{p_1(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_1 t - \frac{(\alpha + 1 - p_2^2/\Delta) v_0 \Delta}{p_2(p_2^2 - p_1^2)} \sin p_2 t. \quad (10)$$

З виразів (9) та (10) отримуємо максимальні зусилля у зв'язках:

$$F_1 = c_1 x_1 = \frac{c_1 v_0 \Delta}{p_1 p_2 (p_2 - p_1)}; \quad (11)$$

$$F_2 = c_2 (x_2 - x_1) = \frac{c_2 v_0}{p_2 - p_1} \left[\Delta \left(\frac{\alpha + 1}{p_1 p_2} \right) - 1 \right]. \quad (12)$$

Аналізуючи вирази (4), (11) та (12), можна заключити, що власні кругові частоти p_1 , p_2 та зусилля F_1 , F_2 залежать від співвідношень коефіцієнтів жорсткості $\alpha = c_1/c_2$ та мас $\gamma = m_1/m_2$. На рис. 1 подані залежності зусиль F_1 та F_2 від співвідношення жорсткостей α для кліщового колодязного крана вантажопідйомністю 10/10 т.

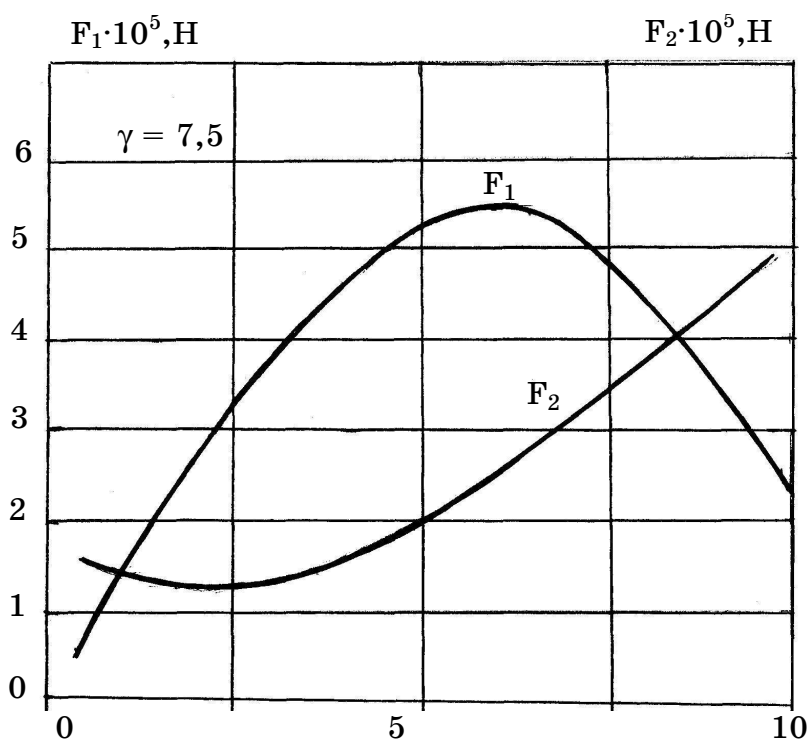


Рисунок 1 – Залежності зусиль F_1 та F_2 від відношення жорсткостей $\alpha = c_1/c_2$

З рис. 1 видно, що мінімальні зусилля, які діють на несучу металоконструкцію крана та на канати механізму піднімання, мають місце при $\alpha = 4,5$. При $\alpha < 4,5$ відбувається зменшення динамічного навантаження на несучу металоконструкцію та збільшення такого на канати. При $\alpha > 4,5$ відбувається збільшення динамічних навантажень на несучу металоконструкцію та канати.

Висновок. Таким чином, розроблено математичну модель формування навантажень на несучу металоконструкцію кліщового колодязного крана, викликаних падінням чи перехватом зливка, за допомогою якої виконано аналіз впливу конструктивних параметрів на величину максимальних амплітуд коливань. Показано, що існує оптимальне співвідношення між коефіцієнтами жорсткості та масами несучої металоконструкції та механізму піднімання, коли динамічні навантаження будуть мінімальними, а при відхиленні від цього значення відбувається перерозподіл динамічних навантажень між несучою металоконструкцією та механізмом піднімання. Для керування співвідношенням між жорсткостями несучої металоконструкції та механізму піднімання з ме-

тою мінімізації динамічних навантажень слід вводити у силову лінію штанги та поліспасного блока пружний зв'язок з перемінним коефіцієнтом жорсткості, який може регулюватися.

ЛІТЕРАТУРА

1. Аветисян С. М. Определение динамических нагрузок мостового крана при торможении поднимаемого груза / С. М. Аветисян, А. Б. Неженцев // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2 (6). – С. 44–49.
2. Будиков Л. Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа / Л. Я. Будиков. – Луганск: Изд-во ВУГУ, 1997. – 210 с.
3. Казак С. А. Динамика мостовых кранов / С. А. Казак – М.: Машиностроение, 1968. – 332 с.
4. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов / Н. А. Лобов – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
5. Шевченко А. Ф. Исследование системы «Кран-виброгруз» с переменной массой груза на крюке / А. Ф. Шевченко, Н. П. Колесник // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ, 2003. – Вип. 2(6). – С. 19–28.
6. Леєпа І. І. Експериментальне дослідження динамічних навантажень в приводній лінії підйому і управління клещами колодезового крана грузопідйомністю 32/50 тонн / І. І. Леєпа // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2001. – Вип. 6(17). – С. 82–89.
7. Леєпа І. І. Експериментальне дослідження динамічних навантажень на мост і механізм підйому колодезового крана і розробка заходів по підвищенню його надійності / І. І. Леєпа // Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП «Системні технології», 2002. – Вип. 1(18). – С. 38–46.
8. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории упругих колебаний / Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1967. – 315 с.

Получено 25.01.2011г.

Е.В. Бодянский, А.А. Дейнеко, Н.А. Тесленко, М.А. Шаламов
**ЭВОЛЮЦИОННАЯ КАСКАДНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ
 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ГЛАВНЫХ
 КОМПОНЕНТ И АЛГОРИТМ ЕЁ ОБУЧЕНИЯ**

Анотація. Розглянуто задачу аналізу головних компонент у реальному часі за допомогою нейронної мережі, вулами якої є нейрони Оя. Введено оптимальний за швидкодією алгоритм навчання синаптичних ваг та процедура еволюції її архітектури, що дозволяє знайти оптимальну кількість нейронів у мережі.

Введение

Во многих задачах, связанных с интеллектуальным анализом данных (Data Mining, Text Mining, Web Mining), распознаванием образов, обработкой изображений, кодированием информации и т.п., возникает проблема сжатия больших массивов данных, для решения которой широко используется метод главных компонент, состоящий в проецировании векторов данных $x(1), x(2), \dots, x(k), \dots, x(k) \in R^n$ из исходного n -мерного пространства в m -мерное пространство пониженной размерности ($m < n$), именуемое пространством главных компонент. С математической точки зрения метод сводится к поиску системы $w_1, w_2, \dots, w_m$ n -мерных ортогональных собственных векторов корреляционной матрицы центрированных относительно среднего исходных данных, при этом $w_1 = (w_{11}, w_{12}, \dots, w_{1n})^T$ соответствует наибольшему собственному значению λ_1 корреляционной матрицы, w_2 - второму по величине собственному значению λ_2 и т.д. Иначе говоря, проблема сводится к поиску решений матричного уравнения:

$$(R - \lambda_j I) w_j = 0$$

таких, что $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$ и $\|w_j\| = 1$. Здесь

$$R = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x(k) - \bar{x})(x(k) - \bar{x})^T = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \tilde{x}(k) \tilde{x}^T(k)$$

– $(n \times n)$ – корреляционная матрица данных,

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x(k)$$

– оценка среднего, I – $(n \times n)$ – единичная матрица.

Данная задача, известная также как алгебраическая проблема собственных значений, или преобразование Карунена-Лоэва, хорошо изучена и решена в предположении, что исходная выборка наблюдений $x(1), x(2), \dots, x(N)$, подлежащая обработке, задана априори и её характеристики не меняются с течением времени. Если же данные поступают на обработку последовательно в реальном времени, их объем заранее неизвестен, а сам объект, генерирующий данные, нестационарен, традиционные алгоритмы, реализующие метод главных компонент, становятся неэффективными и на первый план выходят адаптивные процедуры, основанные на нейросетевых технологиях [1,2].

Постановка задачи

Для нахождения первой главной компоненты Э. Оя [3, 4] было предложено правило самообучения адаптивного линейного ассоциатора

$$y(k) = w^T(k) \tilde{x}(k),$$

минимизирующее энергетическую функцию (критерий обучения) вида

$$E(k) = \frac{1}{2} \|\tilde{x}(k) - \hat{x}(k)\|^2, \quad (1)$$

где $w(k)$ – текущая оценка синаптических весов, представляющая собой, по сути, оценку собственного вектора w_1 , $y(k)$ – текущая оценка первой главной компоненты,

$$\hat{x}(k) = w(k) y(k)$$

– восстановленная оценка входного сигнала $\tilde{x}(k)$.

С учетом того, что градиент критерия (1) по настраиваемым весам имеет вид

$$\nabla_w E(k) = -(\tilde{x}(k) - \hat{x}(k))y(k) = -(x(k) - w^T(k)y(k))y(k),$$

правило Оя для первой главной компоненты может быть записано в виде

$$w_1(k+1) = w_1(k) + \eta(k)y_1(k)(\tilde{x}(k) - w_1(k)y_1(k)), \quad (2)$$

где $\eta(k)$ параметр шага, определяющий скорость сходимости алгоритма и выбираемый в соответствии с условиями А.Дворецкого. Таким образом, правило (2) представляет собой, по сути, процедуру стохастической аппроксимации, характеризующуюся низкой скоростью обучения и непригодную для работы в условиях нестационарности.

В связи с этим в [5,6] было введено модифицированное правило Оя вида

$$\begin{cases} w_1(k+1) = w_1(k) + r^{-1}(k)y_1(k)(\tilde{x}(k) - w_1(k)y_1(k)), \\ r(k) = \alpha r(k-1) + y_1^2(k), 0 \leq \alpha \leq 1, \end{cases} \quad (3)$$

обладающее повышенным быстродействием и дополнительными сглаживающими свойствами, обеспечиваемыми с помощью варьируемого параметра α .

Так, при $\alpha=0$, процедура (3) совпадает по своим свойствам с оптимальным по быстродействию алгоритмом Качмажа–Уидроу–Хоффа [7], при $\alpha=1$ приходим к адаптивному алгоритму идентификации на основе стохастической аппроксимации [8]. Таким образом, обработку информации следует начинать с малых значений α , обеспечивая тем самым высокое быстродействие, далее увеличением α можно добиться сходимости к оптимальным значениям оцениваемых характеристик.

На рис. 1 приведена схема обучения адаптивного линейного ассоциатора с помощью правила (3), а на рис. 2 – условное обозначение модифицированного нейрона Оя.

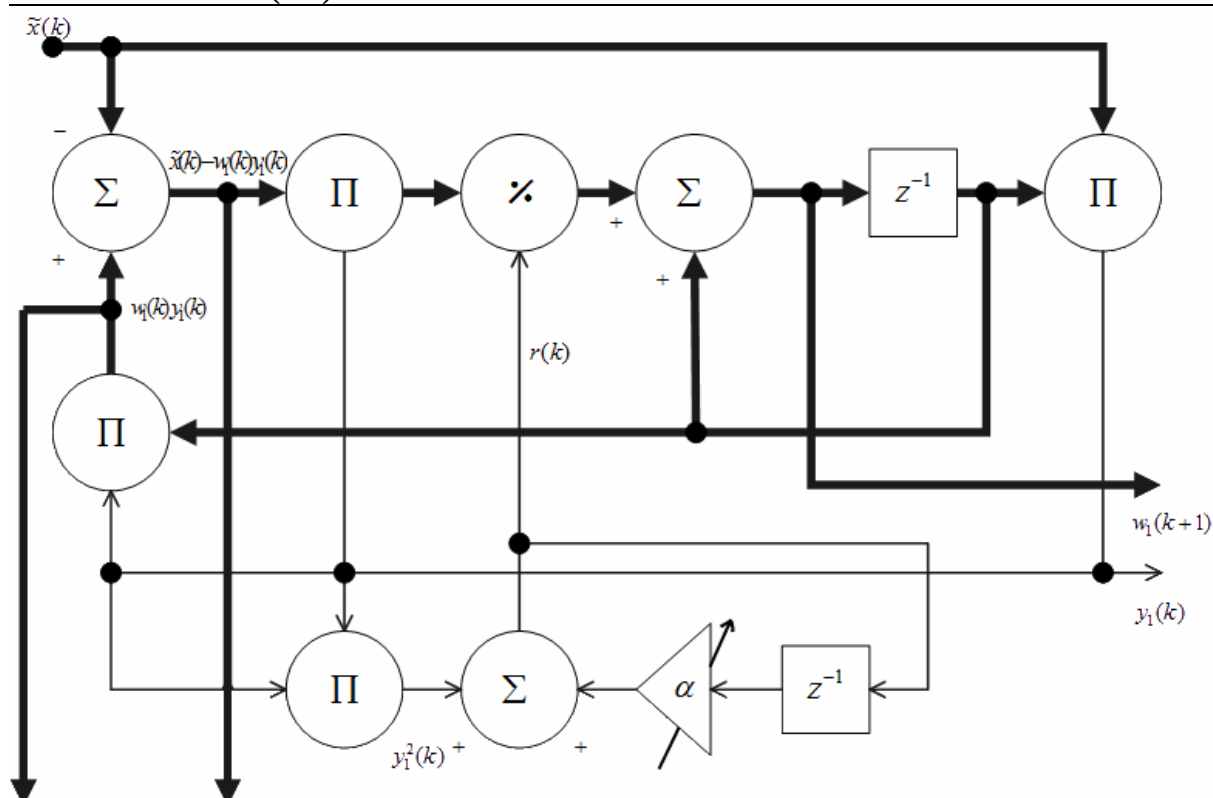


Рисунок 1 – Модифицированный нейрон Оя с контуром обучения

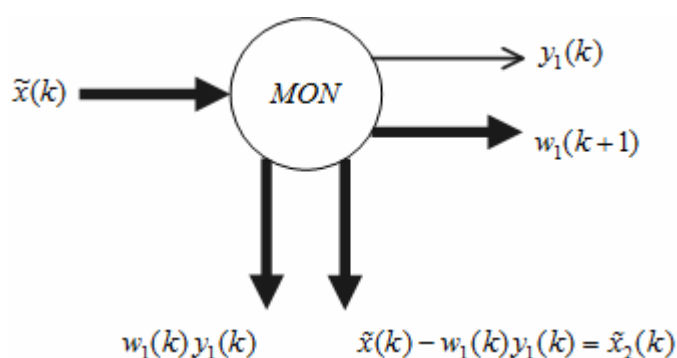


Рисунок 2 – Модифицированный нейрон Оя

Поскольку применение правила Оя подразумевает, что исходные данные центрированы относительно среднего, следует предусмотреть предварительную обработку данных, которая может быть реализована с помощью соотношения

$$\begin{cases} \bar{x}(k) = \bar{x}(k-1) + \frac{1}{k}(x(k) - \bar{x}(k-1)), \\ \tilde{x}(k) = x(k) - \bar{x}(k), \end{cases} \quad (4)$$

где первое выражение, рекуррентно вычисляющее среднее, является в то же время оптимальным алгоритмом самообучения Я.З. Цыпкина[9].

На рис. 3 приведена схема центрирования исходных данных с помощью соотношений (4)

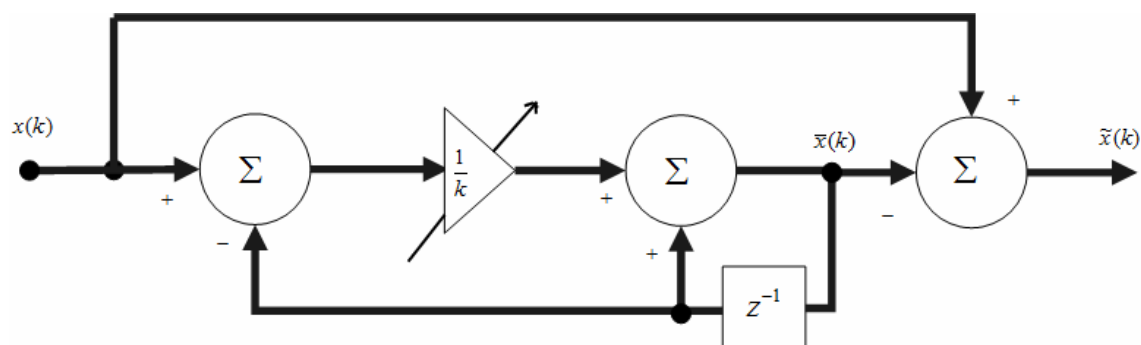


Рисунок 3 – Блок центрирования данных

Для вычисления m главных компонент можно воспользоваться нейронной сетью Т. Сэнгера [10], образованной нейронами Оя, последовательно вычисляющими первую, вторую и последующие компоненты и собственные векторы. В [11] в качестве узлов этой сети было предложено использовать модифицированные нейроны Оя, приведенные на рис. 1,2. При этом алгоритм обучения нейронной сети в целом может быть записан в виде

$$\begin{cases} w_j(k+1) = w_j(k) + r_j^{-1}(k) y_j(k) (\tilde{x}_j(k) - w_j(k) y_j(k)), j = 1, 2, \dots, m, \\ r_j(k) = \alpha r_j(k-1) + y_j^2(k), 0 \leq \alpha \leq 1, \\ \tilde{x}_j(k) = \tilde{x}_{j-1}(k) - w_{j-1}(k) y_{j-1}(k), \tilde{x}_1(k) = \tilde{x}(k), \\ y_j(k) = w_j^T(k) \tilde{x}_j. \end{cases} \quad (5)$$

Из (5) следует, что первый нейрон сети вычисляет первую главную компоненту $y_1(k)$. Далее из $\tilde{x}(k)$ вычитается его проекция на первый собственный вектор $w_1(k)$

$$\tilde{x}(k) - w_1(k) y_1(k) = \tilde{x}_2(k)$$

и вычисляется $y_2(k)$, являющаяся первой главной компонентой $\tilde{x}_2(k)$ или, что то же самое, второй главной компонентой исходного сигнала $\tilde{x}(k)$. Третья главная компонента вычисляется путем проекции каждого исходного вектора $\tilde{x}(k)$ на первые два собственных вектора, вычитания этой проекции из $\tilde{x}(k)$ и нахождения первой главной компоненты $\tilde{x}_3(k)$, являющейся третьей главной компонентой $\tilde{x}(k)$. Ос-

тельные главные компоненты по m -ую включительно вычисляются рекурсивно согласно описанной стратегии.

При этом открытым остается вопрос: сколько же компонент необходимо вычислять в реальном времени, чтобы обеспечить приемлемый уровень компрессии исходного сигнала при минимальной потере информации? Для ответа на этот вопрос целесообразно воспользоваться концепцией эволюционных коннекционистских систем [12], подразумевающей не только настройку синаптических весов нейронной сети, но и её архитектуры непосредственно в процессе обучения.

Эволюционная каскадная нейронная сеть

Архитектура каскадной нейронной сети для последовательного анализа главных компонент приведена на рис.4. Её узлами являются модифицированные нейроны Оя (рис. 1,2), кроме того, она содержит дополнительный сумматор, предназначенный для декомпрессии входного сигнала и блок принятия решений (DM), в котором оценивается необходимость добавления дополнительного нейрона в сеть.

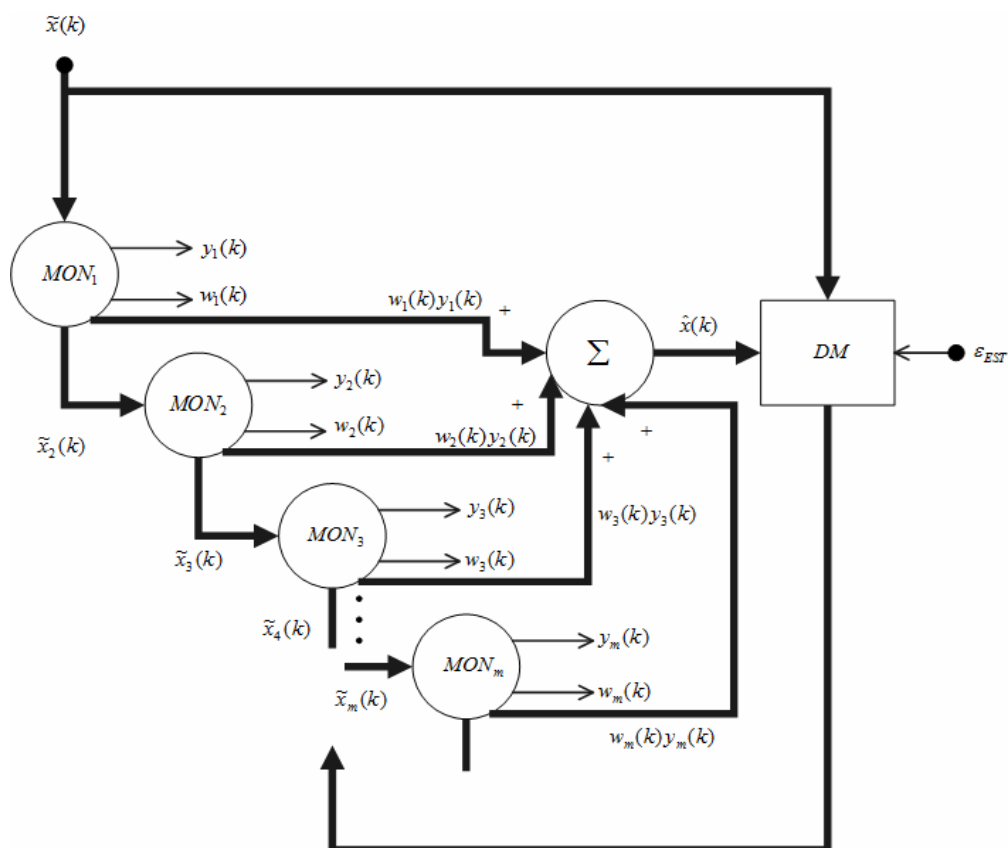


Рисунок 4 – Эволюционная каскадная нейронная сеть для последовательного анализа главных компонент

Сеть начинает свою работу с единственного нейрона MON_1 , при этом, если точность восстановленного сигнала $\hat{x}_1(k) = w_1(k)y_1(k)$ ниже некоторого заданного порога ε_{EST} , принимается решение о добавлении второго нейрона MON_2 так, как это показано на рис. 4. При этом следует заметить, что добавление второго и последующих нейронов (каскадов) никак не влияет на работу предыдущих узлов. Процесс наращивания каскадов продолжается до тех пор, пока восстановленный сигнал

$$\hat{x}_1(k) = \sum_{j=1}^m y_j(k) w_j(k)$$

по точности не будет удовлетворять критерию оценивания

$$E_{EST}^k = \frac{1}{k} \sum_k \frac{\|\tilde{x}(k) - \hat{x}(k)\|^2}{\|\tilde{x}(k)\|^2} \leq \varepsilon_{EST}. \quad (6)$$

Как только значение E_{EST}^k становится меньше уровня порога ε_{EST} , блок ДМ прекращает наращивание числа каскадов. В случае существенного изменения свойств сигнала $\tilde{x}(k)$ и нарушения неравенства (6), процесс роста сети может быть возобновлен.

Следует отметить, что архитектура на рис. 4 строится в рамках конструктивного подхода, т.е. может наращивать число своих нейронов от одного до $n-1$. Для решения задачи последовательного анализа главных компонент может быть использован и деструктивный подход, когда исходная сеть создается из максимально возможного числа нейронов $n-1$, которое сокращается в процессе самообучения. При этом, однако, вместо нейронов Э. Оя, вычисляющих главные компоненты, должны использоваться нейроны Д. Фенга [13,14], предназначенные для анализа минимальных компонент.

Выводы

Предложенная эволюционная каскадная нейронная сеть позволяет в режиме реального времени выделять произвольное число главных компонент многомерного стохастического сигнала, обеспечивая при этом требуемую точность и высокое быстродействие. Результат

вычислительного эксперимента подтверждают эффективность развиваемого подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Haykin S. Neural Networks. A Comprehensive Foundation. – Upper Saddle River, N.J. : Preutice Hall, Inc., 1999 – 842 p.
2. Ham F.M., Kostanic I., Principle of Neurocompting for Science and Engineering. – N.Y. McGraw-Hill, Inc., 2001 – 642 p.
3. Oja E. A simplified neuron model as a principal component analyzer // Journal of Mathematical Biology, – 1982. – 15. – p. 267-273.
4. Oja E. Principal components, minor components, and linear neural networks // Neural Networks. – 1992. – 5. – p. 927-935.
5. Бодянский Е.В., Плисс И.П., Тесленко Н.А. Оптимальный алгоритм обучения нейрона Оя.//Теорія прийняття рішень. III Міжнародна школа-семінар: тези допов. – Ужгород, 2006.–с. 10-11.
6. Бодянский Е.В., Плисс И.П., Тесленко Н.А. Модифицированный нейрон Оя для анализа нестационарных данных // Автоматизация: проблемы, идеи, решения. : Междунар. науч.-тех. : тезисы докл. – Севастополь. – 2006. – с. 17-21.
7. Kaczmarz S. Approximate solution of systems of linear equations // Int. J. Control. – 1993. – 53. – 6. – p. 1269-1271.
8. Goodwin G.C., Ramadge P.J., Caines P.E. A globally convergent adaptive predictor// Automatica. – 1981. – 1. – p. 135-140.
9. Цыпкин Я.З. Основы теории обучающихся систем. – Москва : Наука, 1970. –252 с.
10. Sanger T. Optimal unsupervised learning in a single-layer linear feedforward neural Network// Neural Networks. – 1989. – 2. – p. 459-473.
11. Бодянский Е.В., Плисс И.П., Тесленко Н.А. Нестационарный нейросетевой анализ главных компонент // Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій. – Тези доп. наук.-практ. конф. – Херсон, 2006. – Т.2. – с. 188-191.
12. Kasabov N. Evolving Connectionist Systems. – London : Springer-Verlag. 2003. –307 p.
13. Feng D.Z., Bao Z., Jiao L.C. Total least mean squares algorithm // IEEE Trans. Signal Process. – 1998, – 46. – №8. – p. 2122–2130.
14. Бодянский Е.В., Плисс И.П., Тесленко Н.А. Скоростной адаптивный алгоритм обучения нейрона для вычисления минимальной компоненты // Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании “Инфотех-2007” : Междунар. науч.-практ. конф.: тезисы докл. – Севастополь, – 2007. – Ч. I. – с. 8-11.

О.І. Дерев'янка, О.М. Ватченко

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ НАНОПОКРИТТІВ

Анотація. Розглянута комп'ютерна модель PVD – технології та її дослідження з метою прогнозування впливу технологічних параметрів на характеристики наноструктурних функціональних покриттів.

Ключові слова: Physical Vapor Deposition (PVD), модель, метод молекулярної динаміки, алгоритм Верле, потенціал Морзе, кластери.

Вступ. Розвиток технології формування функціональних покриттів спрямовано на підвищення їх прецизійності, тобто мінімізацію допуску на параметри. Порівняння різних технологій, які здатні забезпечити виконання цих вимог, показує, що зросла роль фізичних - Physical Vapor Deposition (PVD) методів осадження плівок з потоків атомів парової або газової фази речовини [1]. Для PVD процес формування плівок досить просто регулюється за рахунок енергії часток, що осаджують, а не загальної температури, та виконується в три етапи [2]:

1. Дисоціація молекул прекурсора (початкової речовини).

2. Формування елементів структури функціонального покриття в середовищі парової фази..

3. Осадження сформованих елементів та організація їх адгезії з поверхністю покриття.

Постановка задачі. В роботі розглянуто питання розробки комп'ютерної моделі другого етапу PVD та дослідження розробленої моделі з метою прогнозування впливу технологічних параметрів на характеристики наноструктурних функціональних покриттів. В якості загальної теоретичної основи для побудови комп'ютерної моделі в роботі використаний метод молекулярної динаміки (МД).

Загальна частина. Метод молекулярної динаміки складається в поданні тіла сукупністю взаємодіючих часток, що рухаються відповідно законам класичної механіки [3]. Крім того, існують квантово-механічні узагальнення молекулярної динаміки, однак вони виходять

за рамки даної роботи. У класичній молекулярній динаміці в якості часток виступають атоми та молекули. У зв'язку з відкриттям принципово нових механічних і фізичних властивостей матеріалів, що мають структурні елементи нанометрового масштабу, підвищився інтерес до моделювання матеріалів на мікроскопічному масштабному рівні [4].

Перевага методу МД у порівнянні з методами, заснованими на концепції суцільного середовища, полягає у тому, що він вимагає значно менше апріорних припущень про властивості матеріалу. Дійсно, використання тільки найпростішого потенціалу взаємодії (наприклад, Ленарда-Джонса) дозволяє моделювати такі складні ефекти, як пластичність, утворення тріщин, руйнування, температурну зміну властивостей матеріалу, фазові переходи..

Розглянемо сукупність із N взаємодіючих матеріальних часток (атомів), що знаходяться також під дією зовнішнього силового поля. Рівняння руху часток мають вигляд [3]

$$m\ddot{\underline{r}}_k = \sum_{n=1}^N \Phi(r_{kn}) \underline{r}_{kn} + \sum_{n=1}^N \Psi(r_{kn}, v_{kn}) \underline{r}_{kn} + \underline{\varphi}(\underline{r}_k) + \underline{\psi}(\underline{r}_k, \underline{v}_k) \quad (1)$$

де $\underline{r}_k$ та $\underline{v}_k$ - вектори положення й швидкості k -ої частки,

$$\underline{r}_{kn} \stackrel{\text{def}}{=} \underline{r}_k - \underline{r}_n, \quad \underline{v}_{kn} \stackrel{\text{def}}{=} \underline{v}_k - \underline{v}_n, \quad r_{kn} \stackrel{\text{def}}{=} |\underline{r}_{kn}|, \quad v_{kn} \stackrel{\text{def}}{=} |\underline{v}_{kn}| \quad (2)$$

де m - маса частки, $\Phi(r)$ і $\Psi(r, v)$ описують консервативну та неконсервативну складову взаємодії між частками, $\varphi(r)$ і $\psi(r, v)$ описують зовнішнє консервативне й неконсервативне силове поле. Консервативна складова взаємодії $\Phi(r)$ визначається в такий спосіб:

$$\Phi(r) \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{r} f(r), \quad f(r) \stackrel{\text{def}}{=} -\Pi'(r) \quad (3)$$

де $f(r)$ - модуль сили взаємодії між частками, $\Pi(r)$ - потенціал взаємодії. Величина $\Phi(r)$ є найважливішим силовим фактором, у багатьох задачах моделювання, якщо всі інші силові фактори в рівняннях відкидаються, то розглядається консервативна система взаємодіючих часток. Неконсервативна складова взаємодії $\Psi(r, v)$ описує внутрішню дисипацію в матеріалі. Зовнішні силові поля $\varphi(r)$ і $\psi(r, v)$ звичайно використовуються для двох цілей: для завдання зовнішніх силових впливів (гравітаційного, електромагнітного) та для завдання силових

граничних умов. У першому випадку зазначені сили розподілені в повному обсязі простору, де проводиться розрахунок, у другому випадку вони локалізовані поблизу деяких поверхонь, що є границями області моделювання. Крім того, неконсервативний вплив $\psi(r, v)$ може бути використано для експорту енергії із системи за допомогою зовнішньої дисипації

$$\underline{\psi}(\underline{r}, \underline{v}) = -B\underline{v}, \quad B > 0. \quad (4)$$

Ефективним методом чисельного розв'язання рівнянь (1) є алгоритм Верле [4], відповідно до якого обчислення положення частки здійснюється по її попередніх двох положеннях:

$$\underline{r}(t + \tau) = 2\underline{r}(t) - \underline{r}(t - \tau) + \underline{w}(t)\tau^2 \quad (5)$$

де τ - крок інтегрування, $w(t)$ - прискорення частки, одержуване підстановкою розрахованих значень $r(t)$ у праву частину рівнянь (1). Дана схема не вимагає обчислення швидкостей і зручна, якщо в рівняннях (1) відсутні неконсервативні сили. Для прискорення розрахунку потенціал взаємодії звичайно обрізається на деякій заданій відстані r_{cut} . Однак, при великій кількості часток, навіть обчислення відстані між ними вимагає занадто великого часу, тому що кількість необхідних операцій пропорційно квадрату числа часток.

Розглянемо ряд парних унімодальних потенціалів які найбільш часто зустрічаються в літературі. Для довільного парного потенціалу $\Pi(r)$ відповідна сила взаємодії $f(r)$ визначається як

$$f(r) \stackrel{\text{def}}{=} -\Pi'(r) \quad (6)$$

Позначимо σ , a й b відстані, на яких звертається в нуль, відповідно, потенціал і його перша й друга похідні:

$$\Pi(\sigma) \equiv 0, \quad \Pi'(a) \equiv -f(a) \equiv 0, \quad \Pi''(b) \equiv -f'(b) \equiv 0. \quad (7)$$

Розглянемо потенціали, для яких рівняння (7) мають єдине рішення, причому $\sigma < a < b$. Це виконується для всіх простіших потенціалів взаємодії, таких як потенціал Леннарда-Джонса, Мі, Морзе та інших. Зразковий вид подібного потенціалу й відповідної йому сили зображений на рис. 1. Властивість потенціалу полягає в тому, що при наближенні ($r < a$) частки відштовхуються, при видаленні ($r > a$) - притягаються. Відстань a є рівноважною відстанню між частками, відстань b є критичною, при якій настає розрив міжатомного зв'я-

зку. Відзначимо, що сказане строго вірно тільки для двохатомної молекули та для кристалів, у яких враховуються взаємодії тільки найближчих сусідів.

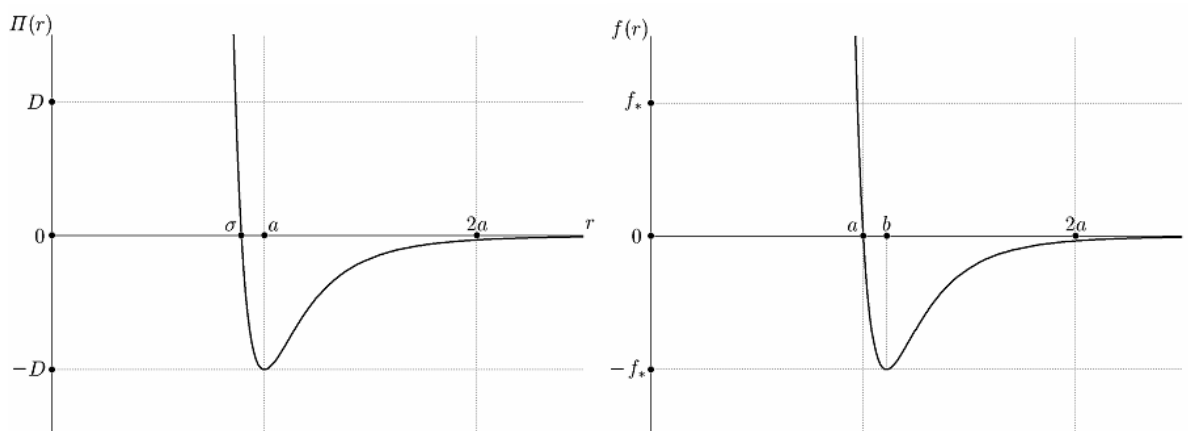


Рисунок 1- Потенціал та сила взаємодії

Потенціал та сила взаємодії Морзе мають вигляд

$$\Pi(r) = D \left[e^{-2\alpha(r-a)} - 2e^{-\alpha(r-a)} \right], \quad f(r) = 2\alpha D \left[e^{-2\alpha(r-a)} - e^{-\alpha(r-a)} \right] \quad (8)$$

де D - енергія зв'язку, a - довжина зв'язку (відстань, на якому звертається в нуль сила взаємодії).

Для візуалізації комп'ютерного моделювання процесу формування кластерних структур внаслідок міжатомної взаємодії при отриманні функціональних плівок за технологією PVD розроблено графічний інтерфейс, який дозволяє у процесі експерименту і на етапі підготовки обертати (рис.2) та наближати сцену моделювання на якій відбувається експеримент. Обертання здійснюється за допомогою лівої клавіші мишки. Наближення сцени здійснюється за допомогою правої клавіші комп'ютерної миші та її рухів.

При відображенні сцени у програмі використана лінійна перспектива. В наслідок чого частки при зображенні сцени (рис. 2) мають розмір залежно від їх відстані до переднього плану (насправді, всі частки мають однаковий розмір).

Експеримент з чисельного моделювання можна провести задавши параметри модельної системи на контрольній панелі (рис.2). При цьому зміни параметра "Енергія", значення якого задається у відсотках відносно енергії дисоціації D потенціалу Морзе (11), викликають виникнення трьох режимів поведінки часток:

- від 0 до 50, частки здійснюють коливання відносно нерухомої точки, дифузія часток відсутня;

- від 50 до 70, частки формують стійкі формоутворення - клас-тери;

- від 70 до 100, частки рухаються вільно в рамках обмежуючої сфери, при зіткненні відбувається пружний удар, відбувається дифузія часток.

У комп'ютерній програмі "Енергія" - єдиний параметр, що в процесі проведення експерименту можна змінювати.

При зміні на контрольній панелі (рис.2) параметра "Кількість" відбувається поновлення чисельного експерименту за нових умов та переформатування сцени (з'являється встановлена кількість часток, у діапазоні від 1 до 1000).

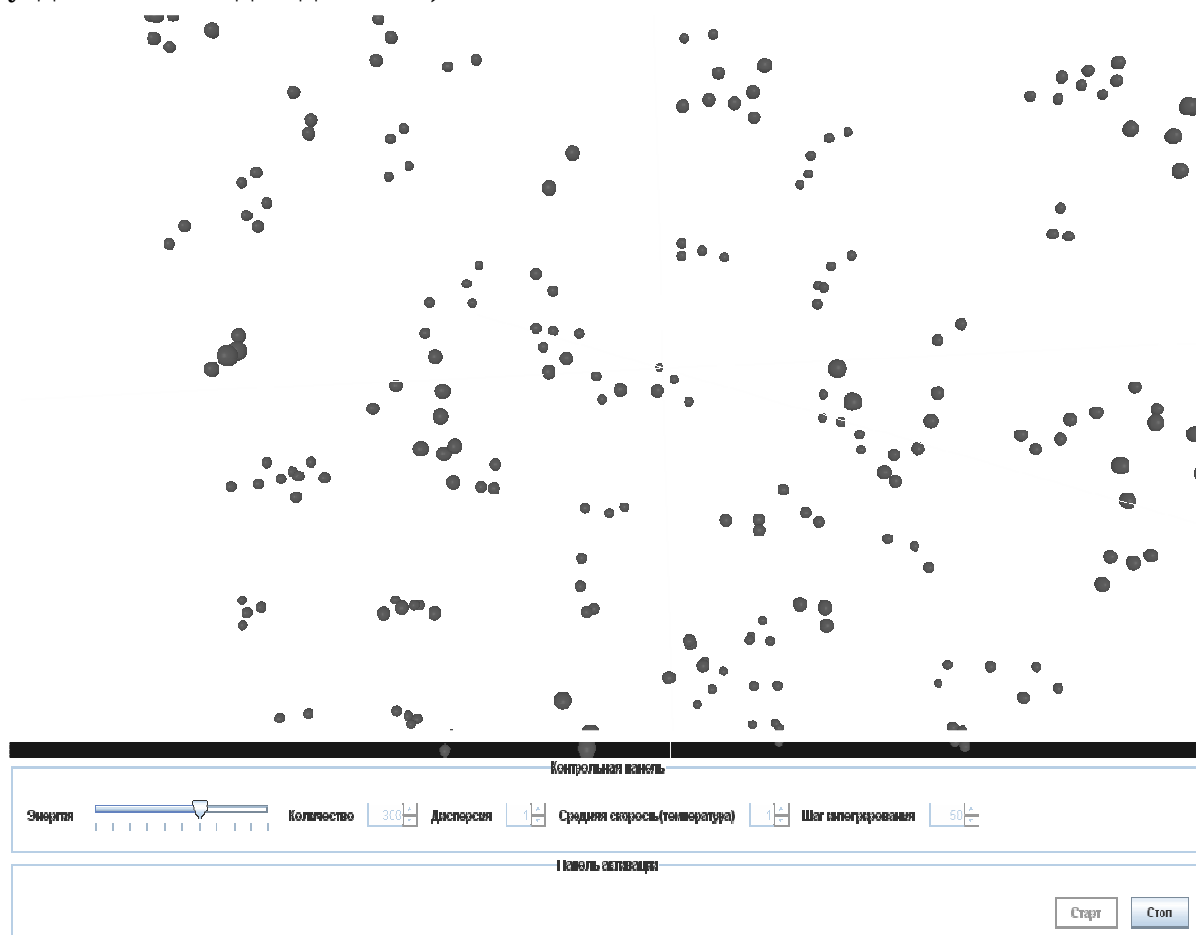


Рисунок 2 - Кластери що утворились в процесі моделювання (збільшення) Кількість часток =300, дисперсія =1, середня швидкість =1, крок інтегрування =50, енергія = 65

"Середня швидкість (температура)" є параметр, що встановлює середню швидкість часток. "Дисперсія" це параметр, що задає діапазон припустимих значень швидкості часток, за нормальним законом розподілу.

Параметр "Крок інтегрування" задає значення кількості внутрішніх кроків інтегрування, що впливає на часовий інтервал виконання розрахунків. Під час виконання чисельного експерименту всі елементи керування на контрольній панелі, крім "Енергія", блокуються.

Вільний рух часток (без формування структур) відбувається за умов високого значення внутрішньої енергії $E > D$. В експерименті з параметрами за цих умов частки вільно рухаються в просторі здійснюючи дифузію, та для них можливі тільки дві події:

- а) зіткнення одна з одною,
- б) зіткнення із зовнішньою сферою, що обмежує область експерименту.

За результатами проведеного чисельного експерименту виявлено, що рух часток хаотичний, тому що через деякий час частка втрачає вплив початкових умов на наступну поведінку. Крім того фазова траєкторія руху окремої частки має властивості дивного атрактору [4]. Формування кластерів відбувається за умов значення внутрішньої енергії $E < D$. За такими параметрами моделювання частки збираються в сталі кластери. Властивості потенціалу Морзе не дають часткам можливості вирватися назовні та зруйнувати кластер, доти внутрішня енергія часток системи не стане завбільшки енергії дисоціації D . При цьому у складі кластерів частки продовжують виконувати коливання

Висновки. Комп'ютерне моделювання процесу формування структурних елементів функціональних покриттів за технологією PVD виявило три варіанти можливого стану часток (атомів) в залежності від їх внутрішньої енергії:

- коливання в складі існуючої структури;
- вільний рух без утворення структури;
- формування сталих структурних утворень.

Крім того, процес дифузії структурних утворень (кластерів) має межу існування, що обумовлена з внутрішньою енергією. Розроблена комп'ютерна модель дає можливість провести чисельні експери-

менти в широкому діапазоні значень параметрів та прогнозувати результати фізичних експериментів, щодо структурних властивостей функціональних покриттів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mattox D.M. Physical vapor deposition. – New Mexico, 1998. -P. 907.
2. Суздалев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. М.: Наука, 2006. - С. 592
3. Валуев А.А., Норманн Г.Е., Полипчук В.Ю. Методы молекулярной динамики: теория и приложения.//Математическое моделирование. Физико-химические свойства вещества. М.: Наука. 5-39с.
4. Frenkel D., Smit B. Understanding molecular simulation. – Academic press. 2002, -P.628.

Отримано 01.02.2011г.

СОДЕРЖАНИЕ

Хандецкий В.С., Мищенко В.В., Герасимов В.В. Оценка характера шума, возникающего при сканировании поверхности изделий из волокнистых композитов	3
Гомилко И.В., Дегтярев А.В., Тонкошкур Ю.А. Цифровая система измерения и передачи данных для контроля материалов методом изотермического деполяризационного анализа.	12
Сопільник О.В., Мартинова А.Л. Моделювання процесу протікання у фторграфітовому композиті.....	17
Ивон А.И., Истуткин В.Ф., Колбунов В.Р., Черненко И.М. Исследование времени задержки переключения критических терморезисторов.....	24
Дробахин О.О., Доронин А.В., Короткая В.Г. Применение нейросетевых технологий для калибровки микроволновых детекторов в интерференционном методе измерения вибраций.....	32
Матвеева Н.А. Моделирование нейросети для решения задач класификации в дефектоскопии.....	37
Пономарев И.В. Моделирование параллельных вычислений для эффективной организации процесса обработки изображений на МВС	45
Рыбка Ю.М. Методика идентификации параметров систем.....	51
Сівцов Д.П., Васькін М.В. Дослідження особливостей практичної реалізації цифрових вимірювачів імпедансу на основі мікросхем AD5934/5933.....	54
Ахметшин А.М., Степаненко А.А. Сегментация слабоконтрастных изображений методом локального Хартли-отображения пространственного распределения яркостей...	68
Ахметшина Л.Г., Ямнич Т.С. Повышение точности интерполяции пространственных данных методом двумерного проецирования нечетких кластеров	75
Григорьев В.М. Стабилизация линейных нестационарных многосвязных систем автоматического управления.....	82
Литвинов А.А., Павленко М.В., Сонин И.Н. Особенности построения подсистемы анализа потоков работ стационарного лечебного учреждения	88

Олейник О.Ю., Черненко И.М., Мысов О.П. Компьютерное моделирование получения оксидов ванадия	94
Валюх А.А. Исследование характеристик шума, возникающего в газопроводе при движении природного газа	98
Хазанов А.В., Иванова Л.Х., Хитько А.Ю., Захарова Т.В. Системный подход к выбору технологии производства чугуновых прокатных валков	107
Пеньков А.П. Системні аспекти поведінки розробника інтегрованих комп'ютерних систем керування виробництвом в сучасних умовах	113
Твердоступ Н.И. Об условиях реализации гиратора на конверторах отрицательного сопротивления	120
Говоруха В.В., Говоруха А.В. Определение характеристик упругих прокладок промежуточного рельсового скрепления путевой структуры	124
Бейгул О.О., Лепетова Г.Л., Неділько А.Ю. Системні технології формування навантажень на несучу металоконструкцію кліщового колодязного крана	135
Бодянский Е.В., Дейнеко А.А., Тесленко Н.А., Шаламов М.А. Эволюционная каскадная нейронная сеть для последовательного анализа главных компонент и алгоритм её обучения	140
Дерев'янюк О.І., Ватченко О.М. Комп'ютерне моделювання процесу формування функціональних нанопокриттів	148

РЕФЕРАТЫ

УДК 680.179:681.513

Хандецький В.С., Міщенко В.В., Герасимов В.В. **Оцінка характеру шуму, що виникає при скануванні поверхні виробів з волокнистих композитів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.3 – 11.

За допомогою розробленого програмного забезпечення проведено моделювання рельєфу поверхні монослою джгутів волокон у випадках, коли діаметри джгутів змінюються за гаусовським та рівномірним законами. Визначені залежності характеру шуму від параметрів моделі. Одержані результати використовуються при безконтактних вимірюваннях електрофізичних властивостей і дефектоскопії композитних матеріалів.

Бібл.4, табл. 3, іл. 5.

УДК 621.346.544.1

Гомілко І.В., Дегтярьов А.В., Тонкошкур Ю.О. **Цифрова система вимірювань і передачі даних для контролю матеріалів методом ізотермічного деполяризаційного аналізу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.12 – 16.

Представлені результати розробки цифрової системи для автоматизованого контролю властивостей матеріалів методом ізотермічного деполяризаційного аналізу. Система дозволяє одержувати, перетворювати у цифровий код і передавати до процесорного пристрою великі масиви даних, що в суттєвій мірі підвищує ефективність контролю.

Бібл. 9, рис. 3.

УДК 543.422:621.352

Сопильник А.В., Мартынова А.Л. **Моделирование процесса протекания во фторграфитовом композите** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.17 – 23.

Создан программный продукт, с помощью которого проведено имитационное моделирование процесса протекания во фторграфитовом композите с учетом особенностей его структуры. Результат работы – программная модель, имитирующая процесс электропроводности и определяющая значение порога протекания при его наличии.

Библ. 5, рис. 3.

УДК 519.6 : 536.764

Івон О.І., Істушкін В.Ф., Колбунов В.Р., Черненко І.М. **Дослідження затримки перемикавання критичних терморезисторів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.24 – 31.

Досліджена кінетика перемикавання критичних терморезисторів на основі диоксиднованадієвої склокераміки у стан з низьким опором. Час затримки перемикавання наближається до нескінченності, коли напруга U_T на терморезисторі наближається до порогової напруги U_S і монотонно зменшується при зростанні напруги, коли $U_T > U_S$. На підставі моделі „критичної температури” знайдено зв'язок між часом затримки перемикавання і напругою. Результати розрахунку адекватно описують данні експерименту.

Бібл. 7, рис. 4.

УДК 621.396:681.3.07

Дробахін О. О., Доронін О.В., Коротка В.Г. **Застосування нейромережових технологій для калібрування мікрохвильових детекторів в інтерференційному методі вимірювання вібрацій** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.32 – 36.

Шляхом числового моделювання підтверджена можливість підвищення точності вимірювань мікрохвильовим вимірювачем вібрацій на основі калібрування детекторів за допомогою нейтронної мережі за даними, які були отримані при переміщенні ковзного короткозамкненого поршня.

Бібл. 4.

УДК 621.3

Матвеева Н.О. **Моделювання нейромережі для розв'язання задач класифікації в дефектоскопії** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.37 – 44.

Здійснено моделювання трьохшарової нейтронної мережі прямого розповсюдження для розв'язання задач класифікації сигналів у дефектоскопії.

Ключові слова: нейрона мережа, багатошаровий персептрон, навчання із застосуванням зворотного розповсюдження, класифікація.

Бібл. 7, рис.4.

УДК 621.3

Пономарьев И.В. **Моделювання паралельних обчислень для ефективної організації процесу обробки зображень на БОС** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.45 – 50.

Запропонована модель обробки зображень, яка базується на параметризованій мережі Петрі, що підтримує часові атрибути переходів і залежності їх спрацьовування від даних і від конфігурації БОС. Модель дозволяє аналізувати вплив розмірів фрагментів зображення на тривалість виконання обробки при різному числі ПЕ в мультипроцесорі і різній кількості мультипроцесорів в БОС.

Бібл. 4, рис. 1.

УДК 681.326.7

Рибка Ю.М. **Методика ідентифікації параметрів систем** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.51 – 53.

Розглянуто алгоритми, що встановлюють факт наявності певного параметра в системі із числа заданих. Розроблено методику вибору мінімального набору тестів, що дозволяє здійснити ідентифікацію з точністю до елемента.

Бібл. 2.

УДК 621.317.73

Сивцов Д.П., Васькин М.В. **Исследование особенностей практической реализации цифровых измерителей импеданса на основе микросхем AD5934/5933** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.54 – 67.

Приведены и обсуждены результаты экспериментальных исследований особенностей использования микросхем AD5934/5933 как основы построения цифровых измерителей импеданса. Полученные результаты могут быть полезны при решении научных и технических задач, которые требуют измерения импедансов кондуктометрических, вихревых и электроемкостных сенсоров на фиксированной частоте или в диапазоне частот.

Бібл. 10, рис. 2, табл. 4.

УДК 004.93

Ахметшин О.М., Степаненко О.О. **Сегментация низко контрастных зображень методом локального Хартлі-відображення просторового розподілу яскравістей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.68 – 74.

Розглянуто інформаційні можливості нового методу аналізу низькоконтрастних зображень. Представлені результати експериментальної перевірки інформаційної можливості методу.

Бібл. 4, рис. 6.

УДК 004.93

Ахметшина Л.Г., Ямнич Т.С. **Підвищення точності методу інтерполяції просторових даних двовимірного проектування нечітких кластерів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.75 – 81.

Розглянуто інформаційні можливості методу нечіткої інтерполяції просторових даних на нерівномірній сітці.

Бібл. 2, рис. 3.

УДК 62-50:519.49

Григор'єв В.М. **Стабілізація лінійних нестационарних багатозв'язних систем автоматичного управління** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.82 – 87.

У роботі показано, що необхідною і достатньою умовою існування регулятора, що забезпечує експоненційну стійкість замкнутої лінійної нестационарної багатозв'язної системи, є експонентний стійкість системи однорідних лінійних нестационарних диференціальних рівнянь, відповідної лівому найбільшому загальному дільнику операторних матриць об'єкта управління. Завдання синтезу стабілізуючого регулятора, представимо у просторі станів, зведена до вирішення матричного операторного рівняння зі стійкою правою частиною.

Бібл. 10.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А., Павленко М.В., Сонін І.М. **Особливості побудови підсистеми аналізу потоків робіт стаціонарного лікувального закладу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.88 – 93.

В роботі розглянуто особливості побудови підсистеми аналізу потоків робіт, яка включає служби моніторингу та аналізу потоків робіт стаціонарного лікувального закладу. В роботі розглянуті проблеми які складають певний бар'єр для застосування стандартних засобів. Запропоноване рішення, яке базується на платформі Windows Workflow Foundation.

Бібл. 5, рис.2, табл.1.

УДК 661.88+004.94+536.7

Олійник О.Ю., Черненко І.М., Мисов О.П. **Комп'ютерне моделювання одержання оксидів ванадію** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.94 – 97.

Виконано моделювання процесу одержання діоксиду ванадію в системах V-O-F-H-Na з використанням програмного комплексу «Селектор». Встановлена можливість одержання діоксиду ванадію в водних розчинах системи V-O-F-H-Na і описано можливість хімічних реакцій, які призводять до утворення діоксиду ванадію з використанням складових частин дослідженої системи.

Бібл.7, рис.1.

УДК 681.3

Валюх А.А. **Дослідження характеристик шуму, що виникає у газопроводі при пересуванні природного газу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.98 – 106.

Здійснено дослідження шумів, що присутні в акустичному тракті ультразвукового витратоміру газу. Частіше за все вони являють собою суміш гармонійного шуму в діапазоні 98-110 кГц й білого гаусовського шуму. На основі набору реалізацій шумів від різних джерел визначена усереднена спектральна модель шуму, що використовується при проектуванні алгоритму адаптивної фільтрації.

Бібл.4, рис.7.

УДК 621.74.002.6:669.131.7

Хазанов А.В., Иванова Л.Х., Хитыко А.Ю., Захарова Т.В. **Системный подход к выбору технологии производства чугуновых прокатных валков** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.107 - 112.

В работе представлены и проанализированы результаты промышленных экспериментов, посвященные определению оптимального типа плавильного агрегата при изготовлении чугуновых сортопрокатных валков, что позволяет уменьшить расход легирующих элементов при плавке валковых чугунов.

Библ. 2, ил.2, табл.4.

УДК 621.372

Пеньков А.П. **Системные аспекты поведения разработчика интегрированных компьютерных систем управления производством в современных условиях** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.113 - 119.

Рассмотрены методологические аспекты поведения разработчика ИКСУП, позволяющие ему быть самостоятельным, инициативным, держать все аспекты разработки ИКСУП в своих руках, быть на голову выше заказчика, предвидеть все пути оптимизации разработки, ее успешной эксплуатации.

Библ.5, табл.1, ил.7.

УДК 62 – 52: 621.317

Твердоступ М.І. **Про умови реалізації гіратора на конверторах від'ємного опору** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.120 - 123.

Для гіратора на конверторах від'ємного опору визначені умови узгодження параметрів елементів, що забезпечують стійкість інвертування імпедансу навантаження.

Бібл. 4, рис. 1.

УДК 622. 6; 625. 14; 625. 143. 482; 539. 3

Говоруха В.В. Говоруха А.В. **Визначення характеристик пружних прокладок проміжного рейкового скріплення колійної структури** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.124 - 134.

Розглянуті методи досліджень пружності і напружено-деформованого стану еластомірних прокладок проміжного скріплення рейкової колії. Дослідження напружено-деформованого стану окремих рифлей і прокладок в цілому виконано з використанням методу кінцевих елементів і методу послідовних наближень із зміною граничних умов при фізичній і геометричній нелінійності. Приведені характеристики еластомірних прокладок проміжного скріплення колійної структури.

Бібл. 11, іл. 5, табл. 1.

УДК 669.013.002.5

Бейгул О.А., Лепетова А.Л., Недилько А.Ю. **Системные технологии формирование нагрузок на несущую металлоконструкцию клещевого коловцевого крана** // Систем-

ные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.135 - 139.

Разработана математическая модель формирования нагрузок на агрегаты клещевого колодцевого крана, проанализировано влияние конструктивных параметров на максимальные амплитуды колебаний.

Библ. 8, илл. 1.

УДК 004.023

Бодянский Е.В., Дейнеко А.А., Тесленко Н.А., Шаламов М.А. **Эволюционная каскадная нейронная сеть для последовательного анализа главных компонент и алгоритм её обучения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.140 - 147.

Рассмотрена задача анализа главных компонент в реальном времени при помощи нейронной сети, узлами которой являются нейроны Оя. Введен оптимальный по быстродействию алгоритм обучения синаптических весов и процедура эволюции её архитектуры, что позволяет найти оптимальное количество нейронов в сети.

Библ. 14.

УДК 519.622.2

Ватченко Е.Н., Деревянко А.И. **Компьютерное моделирование процесса формирования функциональных нанопокровов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 1(72). – Том 2. – Днепропетровск, 2011. – С.148 - 154.

В работе рассмотрена компьютерная модель PVD – технологии и результаты исследований по прогнозированию влияния технологических параметров на характеристики наноструктурных функциональных покрытий.

Библ. 4, рис. 2.

UDS 680.179:681.513

Khandetsky V.S., Mischenko V.V., Gerasimov V.V. **Evaluation of noise character originated while scanning of the surface of composite materials woods** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.3 – 11.

Modelling of the surface relief of bunched fibbers monolayer is realized when diameters of fibbers changes in compliance with the Gaussian and uniform laws using the designed computer program. The dependences of the noise character from the model parameters were defined. Obtained results are used for non-contact measurements of electrophysical properties and defect detection of composite materials.

Bibl.4, tabl.3, ill.5.

UDC 621.346.544.1

Gomilko I.V., Degtyarev A.V., Tonkoshkur Y.A **The digital system of measurements and data for the control of materials by isothermal depolarization analysis** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.12 – 16.

The results of the digital system's development for automated control of the materials properties by isothermal depolarization analysis are shown at the article. System allows receiving data, converting to digital form and transfer to the processor device a lot of data, which is increased controls effectiveness.

Bibl. 9,ill. 3.

UDC 543.422:621.352

Sopilnik A.V., Martunova A.L. **Percolation process modelling in the fluorocarbon composite** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.17 – 23.

Software for simulation process of the current flow in fluorocarbon composites with the structure peculiarities was developed. The result is a software model that simulates the process of current flow and determines percolation threshold.

Bibl. 5, ill.3.

UDC 519.6: 536.764

Ivon A.I., Istushkin V.F., Kolbunov V.R., Chernenko I.M. **Investigation of the switching delay time in critical thermistors** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.24 – 31.

The kinetics of switching into state with low electrical resistance was investigated for critical thermistors created on vanadium dioxide based ceramics. The switching delay time goes to an infinity when a voltage on thermistor U_T goes to a threshold voltage U_S . The delay time decreases monotonically with the voltage growth when $U_T > U_S$. A relationship between delay time and voltage was retrieved using a model of "critical temperature". The outcomes of calculation are describing the experimental data adequately.

Bibl. 7, ill. 4.

UDC 621.396:681.3.07

Drobakhin O.O., Doronin A.V., Korotkaya V.G. **The application of neural networks for calibration of microwave detectors in interference method of vibration measurement** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.32 – 36.

Accuracy improvement in microwave vibration measurement by means of detectors calibration with neural networks using data obtained for sliding piston has been confirmed by numerical simulation.

Bibl. 4.

UDC 621.3

Matveyeva N.A. **Modeling neural networks for solving to the problem classification of non-destructive testing** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.37 – 44.

Keywords: the neutron network, multilayer perceptron, back- propagation learning, classification.

Bibl. 7, il. 4.

UDC 621.3

Ponomarev I.V. **Modeling of parallel calculations for the effective organization of the images of processing on MCS** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.45 – 50.

The images processing model, being based on a parametric Petri-net, supporting the temporal attributes of transitions and dependence of their wearing-out from information and from MCS configuration, is offered. A model allows to analyzed influence of sizes of fragments of image in a time of implementation of treatment at the different number of processor elements in a multiprocessor and different number of multiprocessors in MCS.

Bibl. 4, il. 1.

UDC 681.326.7

Rybka Yu.M. **Methods of System Parameters Identification** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.51 – 53.

The algorithms which establish the fact of a defined parameter presence in a system of set values were discussed. The selection method of a minimal set of tests that allows to identify with accuracy to within an element was worked out.

Bibl. 2.

UDC 621.317.73

Sivtsov D.P., Vaskin N.V. **Research of practical realization features of digital impedance meter base on AD5934/5933-chips core** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.54 – 67.

The results of experimental research the features of using the chips AD5934/5933 as core of digital impedance meter are described and discussed. Given results may be useful for solving of scientific and technical problems witch need impedance measurement for electro-conductive, eddy-current and electro-capacitive sensors at single frequency or frequency range.

Bibl. 10, ill. 2, tabl. 4.

UDC 004.93

Akhmetshin A.M., Stepanenko A.A. **Low contrast image segmentation by means local Hartly mapping of space brightness distribution** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.68 – 74.

Information possibilities a new method of low contrast multispectral images analysis are considered. Results experimental testing of the information facilities method are presented.

Bibl. 4, ill. 6

UDC 004.93

Akhmetshina L.G., Iamnich T.S. **Increase of exactness of spatial information interpolation by method of two-dimensional projection of unclear clusters** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.75 – 81.

Informative possibilities of new method of interpolation of spatial data, set on an uneven net are considered.

Bibl. 2, ill. 3.

UDC 62-50:519.49

Grigor'ev V. M. **Stabilization of linear time-varying multivariable automatic control systems** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.82 – 87.

It is shown that a necessary and sufficient condition for the existence of the regulator, ensuring the exponential stability of closed-loop system is exponentially stable system of homogeneous equations corresponding to the left greatest common divisor of operator matrices of control object.

Bibl. 10.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A., Pavlenko M.V., Sonin I.N. **The specific of design of the hospital workflow analysis subsystem** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.88 – 93.

The given work is devoted to workflow analysis subsystem including two main units: monitoring service and workflow analysis application. First, the problems, making a barrier in standard tools usage in order to solve the task of workflows monitoring and analyzing are figured out and discussed. Then, a variant of solution based on Windows Workflow Foundation is suggested.

Bibl. 5, ill. 2, tabl.1.

UDC 661.88+004.94+536.7

Oleynik O.Yu., Chernenko I.M., Mysov O.P. **Computer simulation of receipt of oxides of vanadium** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.94 – 97.

Modelling of the process for obtaining vanadium in system V-O-F-H-Na has been using program complex "Selektor".

Bibl.7.,ill.1.

UDS 681.3

Valukh A.A. **Investigation of noise characteristics in gas pipeline at natural gas moving** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.98 – 106.

Investigation of noise characteristics in acoustic channel of ultrasound gas flowmeter is conducted. More often the integral noise is mixture of harmonic noise in the range of 98-110 kHz and white Gaussian noise. On the base of collection of different types of the noise is defined the average spectral model of noise, used at designing the adaptive filtration algorithm.

Bibl.4,il.7.

UDC 621.74.002.6:669.131.7

Hazanov A.V., Ivanova L.H., Hitko O.J., Zaharova T.V. **Approach of the systems to the choice of stove for technology of production of cast-iron rental rollers** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.107 – 112.

The results of industrial experiments, sanctified to determination of optimal type of stove for melting at making of cast-iron rental rollers, are in-process presented and analysed, what the expense of alloying elements allows to decrease at melting of roll-foundry irons.

Bibl. 2, il. 2, tabl.4.

UDS 621.372

Penkov A.P. **System aspects of behavior of the developer of the integrated computer management systems manufacture in the modern conditions** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.113 – 119.

Methodological aspects of behavior of developer ICMSM are considered, allowing it to be independent, initiative, to hold all aspects of ICMSM development in the own hands, to be on a head above the customer, to expect all ways of optimization of development, its successful operation.

Bibl. 5, tabl. 1, il. 7.

UDC 62 – 52: 621.317

Tverdostup N.I. **On conditions for the realization of gyrator on negative resistance converters** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.120 – 123.

For gyrator to converters negative resistance the conditions for matching parameters blocks for sustainable inversion impedance.

Bibl. 4, ill. 1.

UDK 622. 6; 625. 14; 625. 143. 482; 539. 3

Govorucha V.V. Govorucha A.V. **Determination descriptions of resilient gaskets of the intermediate rail clamping of the ground structure** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.124 – 134.

The methods of researches of resiliency and tensely-deformed state of elastomernykh gaskets of the intermediate clamping of rail way are considered. Research of the tensely-deformed state of separate ryfley and gaskets on the whole is executed with the use of method of eventual elements and method of progressive approximations with the change of scope terms at physical and geometrical non-linearity. Descriptions of elastomernykh gaskets of the intermediate clamping of the ground structure are resulted.

Bibl. 11, ill. 5, tabl. 1.

UDC 669.013.002.5

Beygul O.A., Lepetova A.L., Nedilko A.Y. **The System technologies Forming of Dynamic Loads for Supporting Structure of Clip Crane** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.135 – 139.

The mathematical model of dynamic loads forming for aggregates of clip crane has been worked out, the influence of structural parameters into maximum vibration amplitude has been analyzed.

Bibl. 8, ill. 1.

UDC 004,023

Bodyansky E.V., Deineko A.A., Teslenko N.A., Shalamov M.A. **Evolutionary stage-Naja neural network for sequential analysis of principal components and its learning algorithm** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.140 – 147.

The Problem of principal component analysis in real time by using a neural network whose nodes are consist of Oja neurons is considered. The optimal learning algorithm for synaptic weights and procedure for evolution of its architecture, which allows to find the optimal number of neurons in the network is introduced.

Bibl. 14.

UDC 519.622.2

Derevyanko A.I., Vatchenko E.N. **Computer modeling of forming process of functional nanocoverages** // System technologies. N 1(72). – Part 1. - Dnipropetrovsk, 2011.- P.148 – 154.

The computer model of PVD- technologies and results of researches is in-process considered on prognostication of influence of technological parameters on characteristics of nanostructures of functional coverages

Bibl. 9, ill. 2.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Хандецкий В.С. – профессор Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Мищенко В.В. - Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Сопільник Олександр Володимирович - кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

Герасимов В.В. – Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Ивон Александр Иванович - доктор физико-математических наук, профессор кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета.

Гомилко И.В. - Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Истушкин Валерий Федорович - кандидат технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета.

Дегтярев А.В. - Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Черненко Иван Михайлович - доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов украинского государственного химико-технологического университета.

Тонкошкур Ю.А. – Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Мартинова Маріанна Леонідівна - Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Колбунов Вадим Радиславович - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиоэлектроники Днепропетровского национального университета.

Дробахин Олег Олегович – заведующий кафедрой прикладной и компьютерной радиофизики Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара, д.ф.-м.н., профессор.

Короткая Валентина Григорьевна – старший преподаватель кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара.

Доронин Алексей Владимирович – м.н.с. Института технической механики НАНУ и НКАУ.

Матвеева Наталия Александровна – к.т.н., доцент каф. ЭВМ, ДНУ.

Пономарев И.В. – к.т.н., старший преподаватель Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара.

Рыбка Юрий Михайлович - старший преподаватель кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета имени Олеса Гончара.

Сивцов Д.П. – старший викладач Дніпропетровського національного університету імені О. Гончара.

Васькин М.В. – Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Ахметшин Александр Мубаркович - профессор, д.ф.-м.н., профессор кафедры АСОІ Дніпропетровського національного університету.

Степаненко Александр Александрович - к.т.н., старший викладач кафедри програмного забезпечення Запорізького національного технічного університету.

Ахметшина Людмила Георгиевна - доцент, д.т.н., профессор кафедры СОМ Днепропетровского национального университета.

Ямнич Татьяна Сергеевна - ассистент кафедры программного обеспечения комп'ютерних систем Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет».

Григорьев Виктор Михайлович – к.т.н., доцент кафедры ЭВМ, ДНУ.

Литвинов Александр Анатольевич – к.т.н., доцент кафедры электронных обчислювальних машин Днепропетровского национального университета ім. О. Гончара.

Павленко Максим Витальевич – врач, директор клиники общей и пластической хирургии «Гарвис».

Сонін Іван Миколайович – студент, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Черненко Иван Михайлович – зав. кафедрой автоматизации производственных процессов ДВНЗ «УДХТУ», д.ф.-м.н., профессор.

Мысов Олег Петрович – доцент кафедры автоматизации производственных процессов ДВНЗ «УДХТУ», кандидат технических наук.

Олейник Ольга Юрьевна – ассистент кафедры автоматизации производственных процессов ДВНЗ «УДХТУ».

Валюх А.А. – Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Хазанов Андрей Владимирович - аспирант НМетУ.

Иванова Людмила Харитоновна – д.т.н., профессор кафедры литейного производства НМетАУ.

Хитко Александр Юрьевич – к.т.н., доц., доцент кафедры литейного производства НМетАУ.

Захарова Татьяна Владимировна - студентка НМетУ.

Пеньков А.П. – Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Твердоступ М.І. – Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара.

Говоруха Владимир Васильевич - заведующий лабораторией проблем рельсового транспорта, ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Говоруха Андрей Владимирович - младший научный сотрудник, ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Бейгул О.А. - Дніпродзержинський державний технічний університет.

Лепетова А.Л. - Дніпродзержинський державний технічний університет.

Недилько А.Ю. - Дніпродзержинський державний технічний університет.

Бодянский Евгений Владимирович – д.т.н., проф. кафедры искусственно-го интеллекта, ХНУРЭ.

Дейнеко Анастасия Александровна – бакалавр кафедры искусственного интеллекта, ХНУРЭ.

Тесленко Наталья Александровна – к.т.н., ст. н. сотр. Проблемной НИЛ АСУ, ХНУРЭ.

Шаламов Максим Алексеевич – аспирант кафедры Искусственного интеллекта, ХНУРЭ.

Ватченко Е.Н. - Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара.

Деревянко А.И. – к.т.н., доцент Дніпропетровського національного університету імені О. Гончара.