

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Материалы Всероссийской научно-технической  
конференции 14-16 мая 2007 г.

САМАРА 2007

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Самарский государственный аэрокосмический университет  
имени академика С.П. Королёва»

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Материалы Всероссийской научно-технической конференции  
14-16 мая 2007 г.

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

УДК 621.396.6:621.382

Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы Всероссийской научно – технической конференции 14.05-16.05.2007, г. Самара/ под ред. И.Г. Мироненко, М.Н. Пиганова. – Самара: Изд-во СГАУ, 2007. – 200 с.  
ISBN 5 –

Рассматриваются теоретические и практические вопросы проектирования и технологии современных устройств радиоэлектроники и телекоммуникаций. Приведены основные электрические и эксплуатационные характеристики устройств. Даны рекомендации по использованию разработанных устройств. Рассматриваются перспективы развития устройств радиоэлектроники и телекоммуникаций.

ISBN 5 –

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет,  
2007

## СОДЕРЖАНИЕ

1.	<i>Н. Тукмаков, А.В. Архипов.</i> Анализ электродиффузионной деградации тонких плёнок.....	7
2.	<i>А. А. Айзикович, Ю. П. Демаков.</i> Описание кодеров сверточных кодов.....	7
3.	<i>Н. В. Гуркин, В. А. Шахнов.</i> Усилитель с отрицательным дифференциальным сопротивлением в системе управления зондовым микроскопом.....	10
4.	<i>В. А. Зеленский.</i> Линеаризация характеристики функционального АЦП модифицированным методом Хука -Дживса.....	12
5.	<i>Д. Б. Жмуров, Е. С. Денисова.</i> Разработка математических моделей для алгоритмического обеспечения информационных измерительных систем перемещений элементов механизмов.....	17
6.	<i>И. Э. Квинт В.А., Шахнов.</i> Расчет теплового режима рамочных конструкций электронной аппаратуры с теплоотводом на основе.....	19
7.	<i>Л. И. Калагутский, И. М. Куликовских.</i> Моделирование сигнала фотоплетизмографического измерительного преобразователя гемодинамических параметров сосудистого кровотока.....	22
8.	<i>М. А. Ковалев.</i> Особенность построения микропроцессорного устройства для систем диагностирования технического состояния гидросистем.....	24
9.	<i>М. А. Ковалев, К. Ю. Мальчиков.</i> Аппроксимативный анализ технического состояния трибомеханических узлов гидросистем на основе ортогональных функций Лагерра.....	26
10.	<i>Б. В. Шишкин.</i> Об одном способе измерения девиации частоты линейно-частотно-модулированных импульсов.....	31
11.	<i>А. М. Косолапов, С. В. Думин, А. В. Лукин.</i> Имитационное моделирование аналого-дискретных измерителей мощности.....	33
12.	<i>Н. Л. Казанский, С.В. Кричевский, А. И. Колтаков, В. А. Колтаков, Н.А. Ивлев.</i> Исследование особенностей механизма трибометрического взаимодействия диэлектрических подложек при проведении процесса измерения чистоты поверхности.....	34
13.	<i>И. А. Кудрявцев, Д.В. Корнишин.</i> Применение матричного фотоприемника для определения параметров дисперсной фазы.....	36
14.	<i>М.А. Ковалев, Д.С. Рысин.</i> Математическое обеспечение задачи определения параметров частиц загрязнения малых размеров в рабочей жидкости гидросистем.....	38
15.	<i>А. П. Погодин, А. В. Пяков.</i> Программа компьютерного моделирования движения заряженных частиц в электростатических полях.....	42
16.	<i>А. В. Мещанов.</i> Математическое моделирование изображений сложных многокомпонентных перемещений с применением многомерных многокомпонентных тестов.....	44
17.	<i>Н. Л. Казанский, С. В. Кричевский, А. И. Колтаков, В.А.Колтаков.</i> Исследование механизмов формирования технологически чистой поверхности.....	46

18.	<i>М. А. Ковалев, А. А. Сотников.</i> Микропроцессорное устройство с функцией коррекции нелинейности первичного преобразователя.....	48
19.	<i>К. А. Резаев.</i> Повышение точности оценки состояния и эффективности воздействия на биологически активные точки человека.....	51
20.	<i>А. С. Рогова, М. Н. Филимонова.</i> Анализ работы трансформаторного преобразователя в качестве датчика крутящего момента.....	53
21.	<i>Л. И. Калакутский, В.В. Графкин.</i> Сравнительный анализ оценки variability сердечного ритма, полученной с помощью электрокардиографического и фотоплетизмографического измерительного преобразователя кардиосигнала.....	55
22.	<i>Т. Н. Назарова.</i> Разработка и исследование газового сенсора на тонкопленочных материалах состава $\text{SiO}_2\text{SnO}_x\text{AgO}_y$ .....	56
23.	<i>А. В. Мещанов, О. С. Костюнин.</i> Матричное описание многокомпонентных перемещений подвижных объектов.....	58
24.	<i>А. С. Нечаев, Н. В. Макаров, Д. Б. Жмуров.</i> Разработка корпуса для учебного стенда по изучению микроконтроллеров.....	60
25.	<i>О. В. Филонин.</i> Спектрально-томографическая диагностика процессов горения в ДВС.....	63
26.	<i>А.В. Столбиков.</i> Особенности подгонки толстопленочных резисторов СВЧ микроплат.....	71
27.	<i>О. В. Филонин.</i> Методы и средства малоракурсной томографической рентгеновкой диагностики в стоматологии.....	73
28.	<i>Фэн Лэй.</i> Исследование прочности на растяжение бессвинцовых припоев ( $\text{Sn}/0.7\text{Cu}$ ), применяемых при производстве радиоэлектронной аппаратуры.....	84
29.	<i>К. В. Шишаков.</i> Адаптивная и активная оптика в системах космической связи.....	87
30.	<i>С. А. Акулов.</i> Измерительный преобразователь концентрации форменных элементов крови.....	89
31.	<i>Н. В. Пяков.</i> Способ обнаружения места утечки воздуха из модуля международной космической станции при помощи масс - спектрометрического преобразователя времяпролётного типа.....	90
32.	<i>М. Н. Филимонова, А. С. Рогова.</i> Способ автоматической коррекции выходных сигналов ДКВП.....	95
33.	<i>Г.Ф.Краснощечкова.</i> Принципы итерационного моделирования логических схем.....	97
34.	<i>Г.Ф. Краснощечкова, А. Д. Краснощечков, А.В Зеленский.</i> Настоящее и будущее наших специалистов.....	100
35.	<i>Г. В. Яковов.</i> Разработка и исследование детекторов квантов электромагнитного излучения на основе сверхпроводниковых наноструктур с туннельным переходом.....	102
36.	<i>В. А. Глушков, П. А. Ушаков.</i> Разработка и исследование автоматизированной установки пиролиза растительного сырья с целью повышения выхода топливного газа.....	105

37.	<i>Д. В. Журавлев, Ю. С. Балашов.</i> Исследование и разработка радиотехнических устройств регистрации параметров функциональной диагностики человека в системах дистанционного контроля.....	109
38.	<i>А. А. Колесникова.</i> Свойства высокотемпературных омических контактов к гетероструктурам ZС-SiC/Si.....	112
39.	<i>М.Г. Вахитов.</i> Исследование и разработка плоской антенны с двумя поляризациями.....	115
40.	<i>С.Н. Семенов.</i> Технологический процесс изготовления гибких прецизионных шлейфов на полиимидной плёнке.....	121
41.	<i>Л.Н. Коломиец.</i> Структурная модель дифференциального волоконно–оптического датчика давления.....	124
42.	<i>А.И.Мишин.</i> Математическая модель процесса рассеяния энергии в тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторах.....	126
43.	<i>С.Ф.Медников, М.Л. Нечаевский.</i> Использование электрической линии для моделирования электромагнитного датчика перемещений.....	130
44.	<i>В. А. Зубарев.</i> Спасательные устройства для верхового рабочего буровой вышки.....	135
45.	<i>М. Н. Пиганов.</i> Проблемы построения ИИС контроля качества калибровки манипуляторов универсальных промышленных роботов.....	137
46.	<i>В. М. Мухин, В. Н. Нестеров, Д. Б. Жмуров, А. В. Мещанов.</i> Калибровка оптической ИИС многомерных перемещений подвижных объектов.....	141
47.	<i>В. Н. Нестеров, В. М. Мухин.</i> Принципы функционирования оптических ИИС параметров движения подвижных целей на основе метода многомерных тестовых объектов.....	149
48.	<i>Н. М.Святкин.</i> Самосогласованный метод расчета электромагнитных полей в ближних зонах излучающих структур, геометрия которых описывается в цилиндрической системе координат.....	155
49.	<i>А.В. Зеленский, М.Н. Филимонова, А.С. Рогова.</i> Конструктивно–технологическая линеаризация статической характеристики ДКВП перемещений с дисковым подвижным элементом.....	157
50.	<i>А.Н.Осипов, А.В. Архипов.</i> Моделирование технологического процесса роста тонких пленок заданной структуры.....	160
51.	<i>С.В.Тюлевин.</i> Методика индивидуального прогнозирования надежности космических радиоэлектронных средств.....	162
52.	<i>В.В.Иванов.</i> Анализ переходных процессов в магнитопроводе с учетом нелинейности магнитной проницаемости.....	163
53.	<i>А.Д. Краснощеков, П.А.Кулагин.</i> Элементы оптимизации на базе имитационных моделей.....	168
54.	<i>В.Н. Нестеров.</i> Прогнозирование показателей надёжности сложных технических систем.....	175
55.	<i>С.В. Тюлевин.</i> Математические модели индивидуального прогнозирования параметров элементов бортовых радиотехнических систем.....	177
56.	<i>В.М. Паршин, А.Ю. Максимов.</i> Повышение точности электронно–акустических устройств измерения расхода.....	183

57.	<i>М.Н. Пиганов.</i> Технология проблемного обучения при подготовке радиоинженеров.....	189
58.	<i>С.В. Тюлевин.</i> Операторы индивидуального прогнозирования показателей надёжности электрорадиоизделий для космических РЭС.....	190
59.	<i>М.Н. Пиганов.</i> Особенности САПР микросборок с нерегулярной структурой.....	192
60.	<i>И.Н. Еремина.</i> Индивидуальное прогнозирование электрорадиоизделий для бортовых радиоэлектронных средств методом обобщенного портрета.....	193
61.	<i>Н.Д. Семкин, М.А. Леднев.</i> Прогнозирование показателей качества бортовой радиоэлектронной аппаратуры.....	194
62.	<i>А.М. Баталова.</i> Технология информационной поддержки жизненного цикла микросборок с нерегулярной структурой .....	196
63.	<i>В.П. Трухов.</i> Оценка надёжности системы автоматического управления электростанцией.....	197
64.	<i>М. А. Абаимов.</i> Особенности конструкции вихрековых измерительных приборов для систем диагностики трубопроводов.....	198

## **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДИФфуЗИОННОЙ ДЕГРАДАЦИИ ТОНКИХ ПЛЕНОК**

К.Н. Тукмаков, А.В. Архипов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Целью работы является постановка экспериментального исследования деградации тонкопленочных проводников электронных приборов при протекании тока высокой плотности. Данное исследование проводится в рамках работы по увеличению электродиффузионной надежности тонкопленочной металлизации. Основной целью исследования является выявление закономерности изменения электросопротивления тонкопленочного проводника в условиях электродиффузионного разрушения, которое свойственно силовым коммутационным системам.

Условия интенсивного роста трещины можно задать, нарушив баланс электродиффузионных потоков массы в проводнике с помощью создания искусственного градиента температуры по длине проводника. Именно этот конструкторский фактор рассматривается в модели.

Для осуществления эксперимента предполагается использовать следующее оборудование: набор специальных тестовых тонкопленочных проводников (алюминиевая пленка на ситалловой подложке в форме длинных проводников различной ширины и контактные площадки), источник питания, цепь с нагрузкой, крепежный механизм, миллиомметр, лабораторная термостабилизированная камера, нагреватель, простые электроизмерительные средства.

## **ОПИСАНИЕ КОДЕРОВ СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ**

А.А. Айзикович, Ю.П. Демаков

Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск

При составлении математических моделей физических процессов бывает полезно свести изучаемую задачу к ранее известной и хорошо изученной модели. Одной из таких моделей является дискретная линейная динамическая система

$$\begin{cases} x(t+1) = A(t)x(t) + B(t)u(t), & t = 0, 1, 2, \dots, \\ y(t) = C(t)x(t) + D(t)v(t), & t = 1, 2, \dots \end{cases}$$



Эту систему можно использовать для описания кодеров [1]. В общем случае в системе  $u(t)$  – входной информационный символ,  $v(t)$  – помеха,  $y(t) = (y_1(t), \dots, y_m(t))'$  –  $m$ -мерный вектор выходных символов,  $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))'$  –  $n$ -мерный вектор состояния кодера,  $A(t)$ ,  $B(t)$ ,  $C(t)$ ,  $D(t)$  – матрицы соответствующих размерностей. Введем необходимые обозначения. Пусть  $E_k$  – единичная матрица порядка  $k$ ,  $e_i^k$  –  $i$ -й столбец матрицы  $E_k$ , т. е.

$$E_k = (e_1^k \dots e_k^k);$$

$$\tilde{E}_k = (0 e_1^k \dots e_{k-1}^k);$$

$(\cdot)'$  – символ транспонирования. Кроме того, пусть  $A$  – прямая сумма  $m$  матриц  $\tilde{E}_p$ , а  $B$  прямая сумма  $m$  матриц-столбцов  $e_p^p$ :

$$A = \underbrace{\tilde{E}_p \oplus \tilde{E}_p \oplus \dots \oplus \tilde{E}_p}_m, \quad B = \underbrace{e_p^p \oplus e_p^p \oplus \dots \oplus e_p^p}_m.$$

Далее приводится пример описания кодера для сверточных кодов [2] со скоростью  $m/n$  ( $m \geq 1$ ) с кодовым ограничением  $k$  дискретной линейной динамической системой.

В общем случае код описывается  $mn$  порождающими многочленами, задающими  $mn$  наборов связей между  $m$  регистрами по  $p = k/m$  ячеек и  $n$  сумматорами. Связь между входными и выходными последовательностями может быть представлена в следующей матричной форме:

$$(T_1(x), \dots, T_n(x)) = (I_1(x), \dots, I_m(x)) \begin{pmatrix} g_1^1(x) & \dots & g_1^n(x) \\ \dots & \dots & \dots \\ g_m^1(x) & \dots & g_m^n(x) \end{pmatrix},$$

где  $g_i^r(x)$  – порождающий многочлен, описывающий связь с регистром  $i$ -го входа и сумматором  $r$ -го выхода, причем

$$g_i^r(x) = g_{i0}^r + g_{i1}^r x + \dots + g_{i,p-1}^r x^{p-1}, \quad g_{ij}^r \in \{0, 1\},$$

и связь ячейки  $j$  регистра  $R$  с сумматором  $S$  отсутствует, если  $g_{ij}^r = 0$ . Схема кодера изображена на рисунке, где нулевые ячейки регистров  $R$  расположены слева.

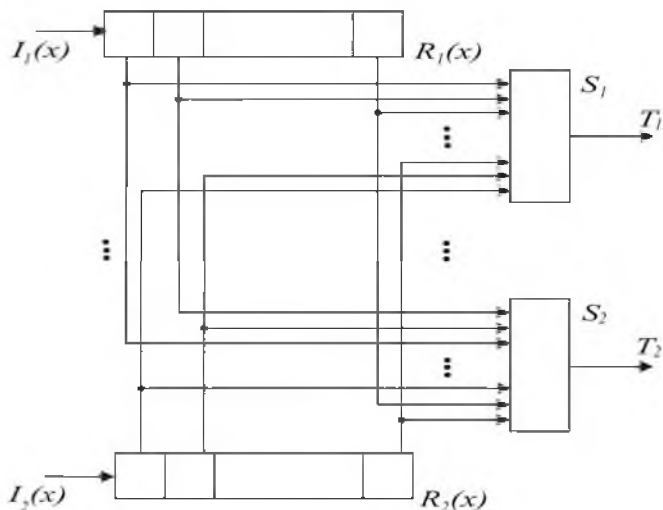


Рис.1 Схема кодера, реализующего двоичные сверточные коды со скоростью  $m/n$

Пусть  $C = \begin{pmatrix} g_{1,p-1}^1 \cdots g_{10}^1 \cdots g_{m,p-1}^1 \cdots g_{m0}^1 \\ \dots \\ g_{1,p-1}^n \cdots g_{10}^n \cdots g_{m,p-1}^n \cdots g_{m0}^n \end{pmatrix}$  – матрица порядка  $n \times k$ , состав-

ленная из коэффициентов порождающих многочленов,  $x$ –  $k$ -мерный вектор состояния кодера,  $\mathbf{x} = (x_{p-1}^1, \dots, x_0^1, \dots, x_{p-1}^m, \dots, x_0^m)'$ , описывающий  $m$   $p$ -разрядных регистров,  $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_m)'$  –  $m$ -мерный вектор входа,  $\mathbf{y} = (y_1, \dots, y_n)'$   $n$ -мерный вектор выхода.

Тогда кодер описывается динамической системой

$$\begin{cases} \mathbf{x}(t+1) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t), & t = 0, 1, 2, \dots, \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{x}(t), & t = 1, 2, \dots, \\ \mathbf{x}(0) = \mathbf{0}. \end{cases}$$

#### Список использованных источников

1. Гилл А. Линейные последовательностные машины. – М.: Наука, 1974. – 288 с.
2. Кларк Дж. мл., Дж. Кейн. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.

## УСИЛИТЕЛЬ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗОНДОВЫМ МИКРОСКОПОМ

Н.В. Гуркин, В.А. Шахнов  
Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, г. Москва

К усилителю туннельного (в туннельном микроскопе) и фотодиодного (в атомно-силовом микроскопе) токов предъявляются повышенные требования по чувствительности (диапазон входных токов 1 пА...10 нА), полосе пропускания (до 50 кГц для обеспечения сканирования в реальном масштабе времени), коэффициенту усиления по мощности (не менее 80 дБ), термостабильности. Этим требованиям отвечает трансимпедансный усилитель, в котором в качестве активного элемента применяется операционный усилитель (ОУ) с входным каскадом на основе дифференциальной пары на полевых транзисторах. Однако такой усилитель требует согласования чувствительного фотодиода и входа ОУ. Входные токи смещения ОУ должны быть меньше чем входной ток фотодиода для обеспечения требуемой чувствительности усилителя. Так как ток фотодиода лежит в наноамперном диапазоне, входные токи смещения ОУ должны быть меньше 1 нА. Также необходимо использовать ОУ с малым значением дрейфа входных токов смещения ОУ. Для уменьшения влияния входных токов смещения применяется фильтр высоких частот на входе ОУ, что, однако, резко уменьшает полосу пропускания усилителя. Для получения амплитуды сигнала выходного напряжения  $U_{out} > 1$  В, что позволяет его в дальнейшем обработать, необходимо использовать в цепи обратной связи ОУ резистор  $R > 1$  ГОм. Резистор с таким сопротивлением обладает большим значением собственных шумов, что снижает чувствительность фотодиодного усилителя, снижает его полосу пропускания и уменьшает отношение сигнал/шум.

При использовании элемента с отрицательным сопротивлением (ОС), для которого справедливо  $R = \frac{\Delta U}{\Delta I} < 0$ , можно добиться оптимального согласования фотодиода и усилителя, получения высокого значения коэффициента усиления ( $K_p > 90$  дБ), большой полосы пропускания вплоть до частоты среза используемых транзисторов  $f_c$ , большой чувствительности, высокого значения отношения сигнал/шум.

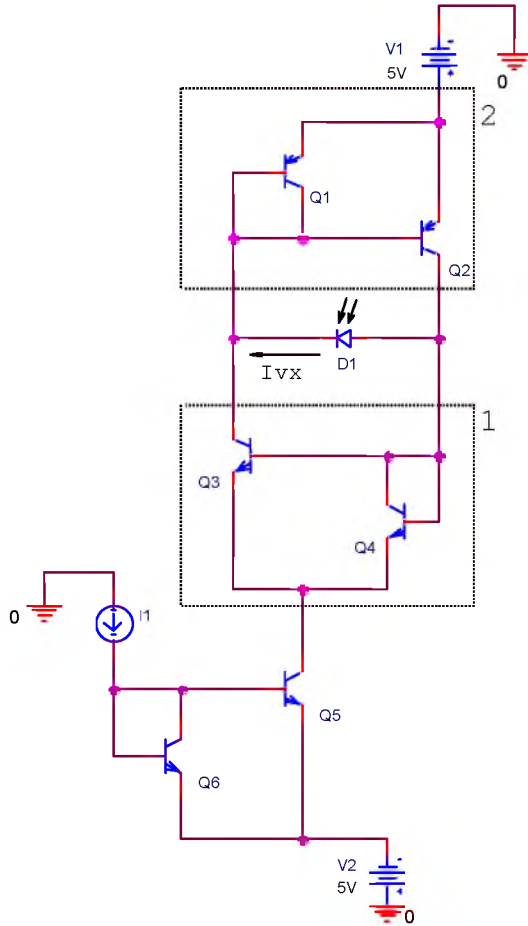


Рис. 1

На рис.1 приведена схема усилителя фототока фотодиода, в котором в качестве устройства с отрицательным дифференциальным сопротивлением (НИС – negative impedance converter) выступает пара токовых зеркал (1 и 2), охваченных положительной обратной связью по току. Источник тока  $I_1$  через токовое зеркало Видлара на транзисторах  $Q_5, Q_6$  задает ток  $I_0$ , протекающий через структуру с отрицательным сопротивлением. Источник постоянного тока является активной динамической нагрузкой для усилителя и позволяет получить высокий коэффициент усиления. При отсутствии входного сигнала  $I_{вх}=0$ , коллекторный ток транзистора  $Q_5$   $I_0$  в режиме, когда

транзисторы токовых зеркал 1 и 2 ( $Q_3, Q_4, Q_1, Q_2$ ), образующих НИС, находятся в открытом состоянии, делится пополам в обеих ветвях НИС.

Входной ток фотодиода  $I_{\text{вх}}$  поступает во входные цепи отражателей тока 1 и 2 и усиливается. Так как отражатель тока 1 наряду с усилением сигнала выполняет функцию положительной обратной связи по току, а отражатель тока 2 выполняет аналогичные функции, то усиление по “петле” обратной связи становится значительным. Ток в петле быстро нарастает и ограничителем его роста остается генератор постоянного тока на транзисторах  $Q_5, Q_6$ . Таким образом можно усиливать малый входной сигнал  $I_{\text{вх}}$  фотодиода вплоть до  $I_{\text{вх}} = 1$  пА, при этом выходной ток будет определяться значением тока  $I_0$  источника тока, а выходное напряжение будет равно падению напряжению на структуре НИС.

#### Список использованных источников

1. Ч. Пул, Ф. Оуэнс. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2004. - 328 с.
2. Ф. Бенинг Отрицательные сопротивления в электронных схемах. М.: Советское радио, 1975. - 288 с.

## ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО АЦП МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ХУКА-ДЖИВСА

В.А. Зеленский

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Волоконно-оптические информационно-измерительные системы последовательного типа характеризуются нелинейностью выходного сигнала [1,2]. Для линеаризации выходного сигнала и последующего преобразования его в цифровой код предлагается использовать функциональный АЦП, каждый уровень компарации которого устанавливается собственным резистивным делителем, параметры которого оптимизированы с помощью метода Хука-Дживса [3].

В этом случае технически не сложно обеспечить наибольший допуск между квантовыми уровнями  $\Delta q$  для уже имеющейся характеристики. Однако для получения численного значения максимально возможной величины  $\Delta q$  необходимо предварительно произвести линеаризацию квантовой характеристики. При этом квантовая характеристика максимально приближается к линейной по критерию Колмогорова, а наименьшее расстояние между квантовыми уровнями  $q_j$  и  $q_{j+1}$  получается максимально возможным.

Рассмотрим применение численного метода Хука-Дживса для линеаризации характеристики информационного сигнала. На рис.1 изображен алгоритм, реализующий данный метод.

Особенностью применения данного метода является отсутствие строгого критерия, позволяющего сделать заключение о правильности результата. Данное утверждение можно применить также к численным методам в целом. Например, для нахождения экстремума непрерывной вместе со своими частными производными функции многих переменных, достаточно исследовать ее Гессиан. В случае применения численных методов не исключено попадание в точки локального минимума (максимума). Рассмотрим, как можно избежать этого, применив модифицированный метод Хука-Дживса для решения поставленной задачи [4,5].

Для количества разрядов выходного кода  $n = 2$  без учета погрешностей можно записать систему уравнений для значений уровней компарации  $k_1, k_2$ :

$$\begin{cases} k_1 = r_1; \\ k_2 = r_2; \\ k_1 \cdot k_2 = r_3, \end{cases}$$

полагая, что  $r_0 = 1$ . Значения  $k_i$ , при которых максимальная из разностей

$$\Delta = \max \{|r_1 - k_1|, |r_2 - k_2|, |r_3 - k_1 \cdot k_2|\}$$

будет минимальной, является решением оптимизационной задачи для  $n = 2$  по критерию Колмогорова.

Сходимость метода, т.е. получение правильного результата, зависит от двух факторов:

- 1) выбора базисных координат (исходных значений переменных  $k_i$ );
- 2) выбора шага, приращения координат (переменных  $k_i$ ).

Вначале определяется множество нехудших базисных координат, для которых  $\Delta$  является максимальной.

Из множества нехудших базисных координат выбираем первую группу и исследуем, как меняется  $\Delta$  при различном шаге приращения координат  $h$ . Задавая изменения шага  $h$ , получаем различные значения  $\Delta$ , из которых выбираем максимальное.

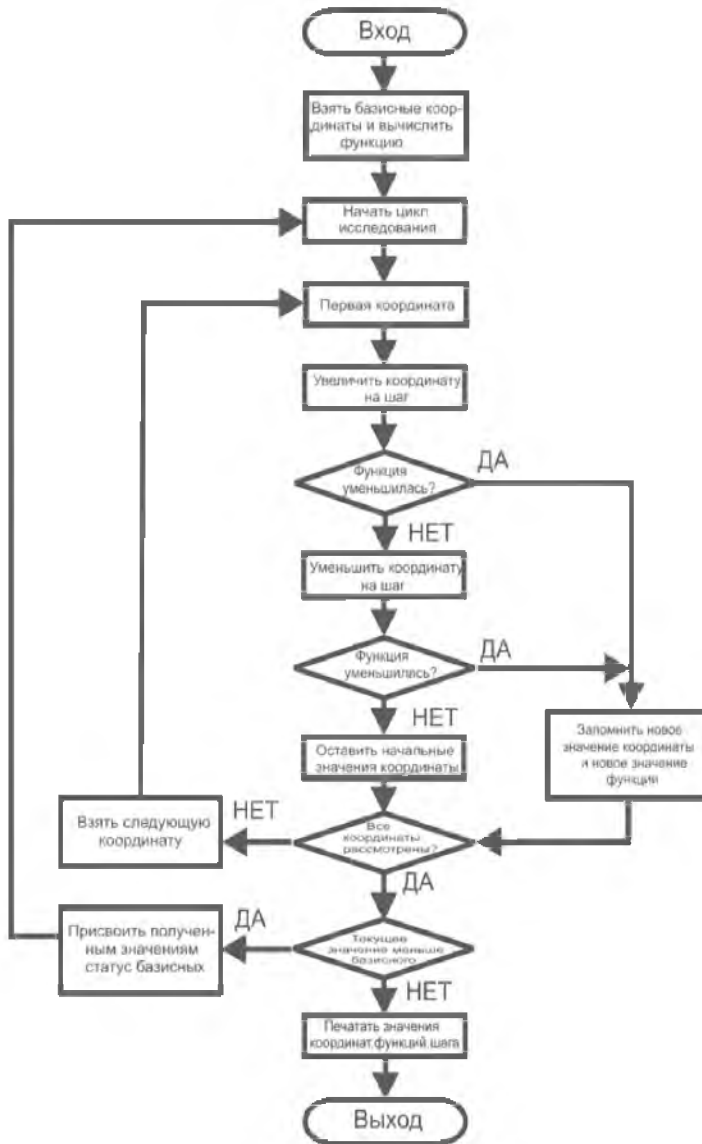


Рис. 1. Алгоритм метода Хука-Дживса

Данная процедура называется первой ступенью варьирования шага  $h$ . Далее, присвоив координатам  $k_i$ , для которых  $\Delta$  - минимальная, статус базисных, вновь воспользуемся методом Хука-Дживса. Уменьшая шаг приращения координат, определим минимальную разность  $\Delta$  для каждой ступени варьирования шага. Этот этап продолжается до тех пор, пока величина шага  $h$  не станет равной номинальной. После этого переходим ко второй группе нехудших базисных координат и по описанному выше алгоритму находим минимальную разность  $\Delta$  для этой группы. Таким образом исследуются все группы нехудших базисных координат. Сравнивая  $\Delta$  различных групп, находим группу с минимальным  $\Delta$ . Соответствующие этой группе значения координат  $k_i$  и будут искомыми. Данную процедуру можно рассматривать как модификацию метода Хука-Дживса. Алгоритм модифицированного метода Хука-Дживса приведен на рис.2.

Таблица 1. Оптимальные уровни компарации в схеме функционального АЦП

Число разрядов	Оптимальные весовые коэффициенты	Значения квантовых уровней	Допуск квантовых уровней
2	0,63 0,46	1 0,63 0,46 0,29	0,17
3	0,81 0,68 0,49	1 0,81 0,68 0,55 0,49 0,40	0,06
4	0,904 0,816 0,685 0,463	1 0,904 0,816 0,738 0,685 0,619 0,559 0,505 0,463 0,419 0,378 0,342 0,317 0,234	0,025



Программа, реализующая модифицированный метод Хука-Дживса была написана на языке QBASIK. Полученные результаты для  $n = 2, 3$  и 4 приведены в табл.1.

Из анализа табл.1 видно, что допуск на разброс значений квантовых уровней функционального АЦП составляет 0,17, 0,06, и 0,025 части нормированной к единице шкалы преобразователя для числа разрядов  $n = 2, 3$  и 4, соответственно.

Аналогично определяются оптимальные уровни для любого значения числа разрядов и, тем самым, линеаризуется характеристика функционального АЦП. Практическое применение функционального АЦП ограничивается числом разрядов не более 7 – 8. При большей разрядности трудно обеспечить необходимое отношение сигнала к шуму



Рис.2. Алгоритм модифицированного метода Хука-Дживса

### Список использованных источников

1. Гречишников В.М., Зеленский В.А. Волоконно-оптическая информационно-измерительная система. Патент РФ № 2029324.Бюл. № 5 от 20.02.1995 г.
2. Зеленский В.А., Гречишников В.М. Бинарные волоконно-оптические преобразователи в системах управления и контроля.- Самара,: Самарский научный центр РАН, 2006.
3. Р.Хук, Т.А.Дживс. Прямой поиск решения для числовых и статических проблем, - М.:Мир,1961.
4. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс.- М.: Радио и связь, 1988.
5. Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления.- М.: Мир, 1974.

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ МЕХАНИЗМОВ**

Д. Б. Жмуров, Е. С. Денисова

Самарский государственный технический университет, г. Самара

Исследование движения механических объектов является одним из важных элементов научных исследований, например в сборочных автоматах и универсальных промышленных роботах, аппаратах автоматизированной диагностики ходовой части транспортных средств, в испытаниях стендов газотурбинных двигателей и т.п.

Во время функционирования, исследуемый объект может совершать сложные механические перемещения и деформации, источниками которых могут являться различные причины и явления как внутреннего, так и внешнего по отношению к объекту характера.

Определение величин указанных изменений даёт важную информацию о вызывающих их возмущающих факторах, актуально для дальнейшего совершенствования промышленных объектов.

В некоторых работах предложен системный подход к моделированию измерительных систем, использующих однотипные датчики линейных расстояний.

Определение компонентов перемещений и деформаций объекта достигается за счёт алгоритмической обработки результатов измерений.

На практике существует ряд измерительных задач, определения деформаций и перемещений объекта. Под перемещением объекта будем по-

нимать перемещение точки, называемой полюсом объекта. Под деформацией будем понимать любое изменение формы и/или размеров объекта.

Рассмотрим математическую модель указанного подхода для решения подобных задач.

Пусть объект измерений, который также имеет в своей структуре выдвигной элемент, может перемещаться вдоль координатной оси  $X$  и одновременно с этим деформироваться вдоль этой же оси.

Сигналы на выходах датчиков могут быть аппроксимированы следующей системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= k(d_0 + x_1); \\ f_2 &= -k(-d_0 + x_1 + x_2); \\ f_3 &= -k(-d_0 + x_1 + x_2 + x_3); \\ f_4 &= -k(-d_0 + x_1 + x_2/2). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $f_1, f_2, f_3, f_4$  – сигналы на выходе соответствующих измерительных каналов,  $k$  – параметр, характеризующий чувствительность датчиков,  $x_1, x_2$  – информативные компоненты, характеризующие соответственно перемещение и деформацию объекта,  $x_3$  – компонента, характеризующая перемещение выдвигного элемента относительно объекта.

Решая систему уравнений (1) относительно информативных компонентов  $x_1, x_2, x_3$  получаем следующие алгоритмы обработки измерительной информации:

$$x_1 = d_0 (f_1 - 2f_4 + f_2) / (2f_4 + f_1 - f_2); \quad (2)$$

$$x_2 = -4d_0 (f_2 - f_4) / (2f_4 + f_1 - f_2); \quad (3)$$

$$x_3 = 2d_0 (f_2 - f_3) / (2f_4 + f_1 - f_2). \quad (4)$$

Таким образом, был разработан один вариант математической модели измерительной системы.

Данная разработка позволит спроектировать информационно измерительную систему для классов устройств соответствующих рассмотренной модели.

Получаемые измерительно-вычислительные алгоритмы довольно легко реализовать программным путём на базе персональных компьютеров или специализированных микропроцессорных систем обработки данных.

При моделировании конфигурации следует учитывать технические возможности используемых датчиков. В связи с этим некоторые варианты решения измерительной задачи не могут быть физически реализованы. Однако разнообразие вариантов установки датчиков почти гарантированно обеспечивает существование хотя бы одного решения.

В процессе конструирования измерительной системы важную роль играет выбор значения начального расстояния между датчиком и объектом, выбор модели датчика и согласования ряда технических характеристик элементов измерительной системы.

## **РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА РАМОЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ С ТЕПЛООТВОДОМ НА ОСНОВАНИЕ**

И.Э. Квинт, В.А. Шахнов

Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана, г. Москва

Рамочные конструкции находят применение при построении электронной аппаратуры авиационных и космических систем управления. Они обладают рядом преимуществ перед традиционными конструктивными системами, к числу которых следует в первую очередь отнести более высокую плотность компоновки, жесткость конструкции, высокую теплопроводность звеньев «электрорадиоэлементы – рельефные платы – рамка», эффективный теплоотвод на внешний контур подложек рельефных плат, простоту и сравнительно малый цикл проектирования и изготовления рельефных плат, отсутствие драгметаллов в разъёмных соединениях и др. Конструктивно рамочные конструкции строятся из рельефных плат (РП) с установленными на них ЭРЭ (используется преимущественно поверхностный монтаж); подложек из дюралюминия; разъемов с нулевым усилием сочленения (РНУС), обеспечивающих контактирование соседних РП и межплатную коммутацию шин сигналов и потенциалов питания; рамок для обеспечения ориентации РНУС и выполнения роли несущей конструкции; верхней и нижней крышек; шпилек, стягивающих пакет из рамок, РНУС, РП, подложек РП и крышек (см. рис.)

В связи с плотной компоновкой рамочной конструкции на первый план выдвигается проблема отвода тепла. Разработанная авторами методика расчета теплового режима дает возможность определить параметры и тепловые режимы элементов конструкции устройства при различных входных параметрах: количество плат в пакете, мощность тепловыделения каждой платы, условия установки и эксплуатации электрорадиоэлементов.

Для обеспечения теплового режима аппаратуры активные (тепловыделяющие) элементы должны иметь хороший тепловой контакт с металлическими подложками РП.

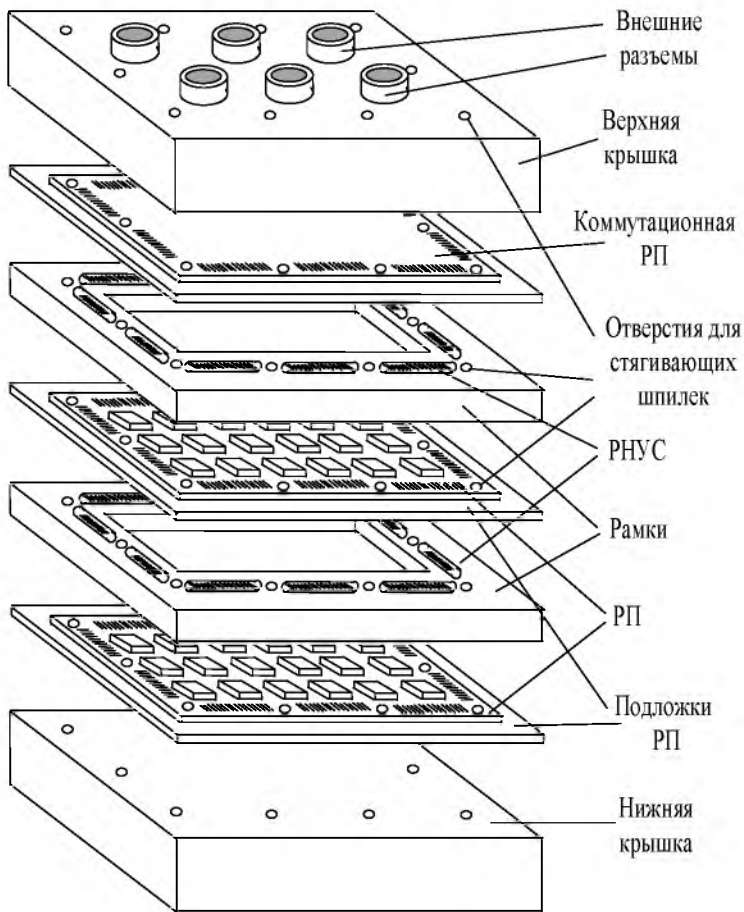


Рис. 1

В тех случаях, когда аппаратура должна интенсивно работать короткое время, ее тепловой режим может быть обеспечен путем отвода выделяющегося тепла на массивное основание, температура которого остается постоянной. Постоянство температуры основания может быть достигнуто тем, что в него встраивается некоторая ёмкость с легкоплавким наполните-

лем, температура плавления которого меньше температуры, допустимой для работы электрорадиоэлементов. Тогда температура основания будет постоянной и равной температуре плавления наполнителя вплоть до полного расплавления последнего. Для длительной работы охлаждение должно обеспечиваться за счет теплообмена с окружающей средой. При этом тепло, выделяющееся в каждой плате, передается с помощью теплопроводящего экрана на поверхность конструкции, а по ней на основание и за счет теплообмена удаляется в окружающую среду.

Приведя рамочную конструкцию к цилиндрической многослойной структуре, после соответствующих допущений и преобразований, получено выражение для расчета температуры в местах выхода слоев на боковую поверхность в виде:

$$T(n) = \frac{l}{2\pi Rkd_1} \left[ n \sum_{i=n-1}^N Q_i + \sum_{i=1}^{n-1} iQ_i \right],$$

где  $T(n)$  – температура боковой поверхности между  $n$ -м и  $(n-1)$ -м слоями;  $R$  – радиус эквивалентного диска;  $k$  – коэффициент теплопроводности материала слоя;  $d$  – толщина теплопроводящего слоя;  $n$  – номер слоя;  $N$  – число слоев;  $Q_i$  – мощность тепловыделения  $i$ -го слоя.

При известных расположениях и тепловыделениях активных элементов определяется температурное поле в каждом слое. Рассмотренная методика позволяет вычислять температуру на границах отдельных плат. Используя ее, можно задать граничные условия в уравнении Пуассона при расчете температурного поля на плате. Это дает возможность оптимизировать процесс расстановки ЭРЭ на рельефной плате в автоматизированном режиме.

#### Список использованных источников

1. Алферов А. В., Богданов А. В., Богданов Ю. А. Двухсторонние рельефные печатные платы как альтернатива многослойным. Электронные компоненты. 1997. № 7. С. 14 - 17.
2. Кокотов В. З. Конструкции, технология и автоматизированное проектирование рельефного монтажа: Учебное пособие.- М.: МАИ, 1998.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛА ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СОСУДИСТОГО КРОВОТОКА**

Л.И. Калакутский, И.М. Куликовских

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Инструментальная оценка гемодинамических показателей магистральных сосудов является важным фактором ранней диагностики сердечно-сосудистых заболеваний.

Ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет 2 типа, атеросклероз периферических сосудов характеризуются повышением жесткости эластических сосудов в результате изменения сосудистой стенки и дисфункции эндотелия. В настоящее время для оценки функции эндотелия и процессов сосудистого ремоделирования используются ультразвуковые доплерографические, сфигмоманометрические и фотоплетизмографические методы инструментального исследования параметров гемодинамики.

Наиболее простым методом для построения приборов экспресс-диагностики является метод анализа формы объемной пульсовой волны, регистрируемой с помощью фотоплетизмографического датчика, расположенного на ногтевой фаланге пальца руки обследуемого. Данный метод применяется для оценки возрастных изменений эластичности сосудов у здоровых и процессов сосудистого ремоделирования у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Пальцевая фотоплетизмограмма отражает слияние двух объемных пульсовых волн. Первый (анакротический) максимум фотоплетизмограммы образуется за счет систолической, прямой волны формируемой объемом крови в систолу, передающимся напрямую от левого желудочка к пальцам верхних конечностей. Второй (дикротический) максимум образуется за счет отраженной волны, которая возникает из-за отражения объема крови, передающегося по аорте и крупным магистральным артериям к нижним конечностям, и направляющегося обратно в восходящий отдел аорты и далее к пальцам верхних конечностей.

Для оценки выраженности отраженной волны используется показатель – индекс отражения, представляющий собой отношение амплитуды отраженной волны, к амплитуде прямой волны.

Отраженная волна отстоит от прямой систолической на величину артериального временного интервала, определяемого как промежуток времени, отсчитываемый от момента анакротического максимума артериальной пульсации до момента дикротического максимума той же пульсации. Артериальный временной интервал зависит от скорости распространения

пульсовой волны и расстояния, которое она должна пройти. Расстояние определяется ростом обследуемого. Для характеристики распространения пульсовой волны вводится специальный показатель – индекс жесткости, определяемый как отношение роста обследуемого, к величине артериального временного интервала.

Индекс жесткости определяется скоростью распространения пульсовой волны: чем больше скорость распространения, тем меньше время отражения и тем раньше, по отношению к систоле, возвращается отраженная волна. Чем более ригиден сосуд, тем меньше время отражения, тем больше индекс жесткости.

Параметры формы периферической объемной пульсовой волны, полученные с помощью анализа пальцевой фотоплетизмограммы, определяются главным образом характеристиками большого круга кровообращения, скоростью распространения волны давления в аорте и крупных эластических артериях, а также тонусом мелких артерий, от которого зависит отражение. Эти факторы определяют высокую диагностическую ценность получаемых показателей – индексов отражения и жесткости.

Наибольшую погрешность в определении данных диагностических показателей вносит определение координат максимумов анакротической и дикротической волны. При патологических изменениях сосудистой стенки, в первую очередь, из-за уменьшения эластических свойств, дикротический максимум может быть слабо выражен, а артериальный временной интервал иметь малую величину. В этом случае для получения достоверных диагностических показателей необходимо исследование новых алгоритмов выделения максимумов фотоплетизмограммы.

Разработана модель сигнала фотоплетизмографического измерительного преобразователя гемодинамических параметров сосудистого кровотока учитывающая возрастные изменения формы периферической объемной пульсовой волны. Пользуясь аналогией между уравнениями гемодинамики и уравнениями электрической линии с распределенными параметрами, можно представить распространение пульса по сосудистому руслу как прохождение сигнала по длинной линии с согласованной нагрузкой. В этом приближении целесообразно представить сигнал пальцевой фотоплетизмограммы в экспоненциальном разложении. Для построения модели сигнала была использована обучающая выборка данных, состоящая из записей сигналов пальцевой фотоплетизмограммы для практически здоровых обследуемых различного возраста (от 23 до 61 года). При задании входных данных, включающих значения возраста и роста, модель позволяет формировать значения диагностических показателей – индексов отражения и жесткости.



Изучение алгоритмов определения координат максимумов сигналов с использованием модели сигнала позволяет получить оценки попадания значений диагностических индексов в соответствующие возрастные группы, что может служить оценкой достоверности исследуемых алгоритмов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 07-08-96609.

## **ОСОБЕННОСТЬ ПОСТРОЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОСИСТЕМ**

М.А.Ковалев

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В последнее время разработчики гидросистем все большее внимание уделяют построению систем диагностирования, поскольку такие системы способны значительно повысить надежность гидросистем и увеличить ресурс гидроагрегатов. Одним из важнейших диагностических признаков технического состояния гидроагрегатов являются параметры частиц износа, генерированные узлами трения в рабочую жидкость. Анализируя дисперсный состав таких частиц (концентрация и размер частиц), можно прогнозировать состояние и остаточный ресурс того или иного гидроагрегата [1].

Системы диагностирования технического состояния агрегатов гидросистемы по параметрам частиц износа должны включать датчики встроенного контроля (ДВК), микропроцессорные устройства (МПУ) и ПЭВМ. При их построении [1] наибольшее распространение получили фотоэлектрические ДВК. Принцип работы таких ДВК основан на том, что частицы износа, увлекаемые потоком рабочей жидкости, проскакивая в потоке между источником излучения и фотоприемником ДВК, создают на фотоприемнике тень, которая преобразуется в импульс напряжения, амплитуда которого  $U$  связана с размерами частицы  $d$  нелинейной зависимостью  $U = k \cdot d^2$ , где  $k=0,004 \text{ В/мкм}^2$ .

Сигнал с ДВК поступает на МПУ, главной задачей которого является оцифровывание сигнала и передача его посредством интерфейса в ПЭВМ для дальнейшей обработки. При этом шаг дискретизации по напряжению  $\Delta U$  определяется разрядностью АЦП  $M$ . В связи с нелинейностью зависимости  $U(d)$  постоянному значению  $\Delta U$  будет соответствовать шаг дискретизации по размеру частиц  $\Delta d$ , величина которого будет зависеть от значения  $d$ . Характер зависимости  $\Delta d(d)$  для восьмиразрядного АЦП приведен на рисунке 1 (кривая 1). Из анализа этого графика следует, что с уменьшением

$d$  шаг дискретизации  $\Delta d$  возрастает по нелинейному закону, причем наиболее резкое возрастание  $\Delta d$  происходит при  $d < 20$  мкм.

Однако фотоэлектрические ДВК регистрируют только частицы размером более 5 мкм. Это ограничение обусловлено действием шумов фотоэлектрического преобразователя и параметрического усилителя ДВК. Для преодоления такого ограничения предлагается использовать математический аппарат аппроксимационного анализа. Учитывая, что распределение дисперсного состава частиц загрязнения рабочей жидкости подчиняется логнормальному закону, был разработан алгоритм [2], который на основе анализа распределения дисперсного состава в диапазоне частиц размером более 5 мкм, позволяет оценить параметры логнормального закона и, используя их, спрогнозировать распределение дисперсного состава в диапазоне менее 5 мкм

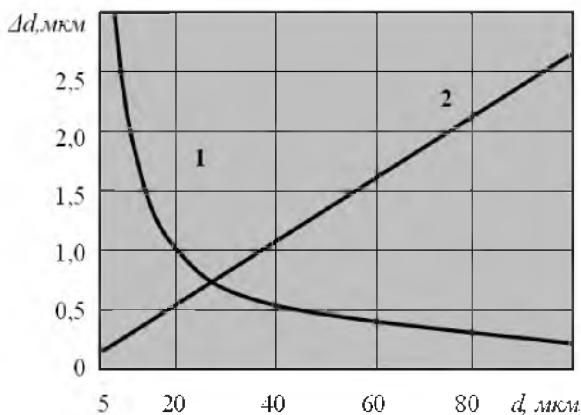


Рис. 1. Зависимость значения шага дискретизации  $\Delta d$  от величины размера частиц износа  $d$  при  $M=8$

Ввиду того, что максимум распределения дисперсного состава частиц износа в большинстве случаев находится в области  $d < 10$  мкм, то для решения задачи аппроксимации наиболее важен анализ частиц именно такого размера [2]. Следовательно, шаг дискретизации в этой области должен быть как можно меньше. Анализ же кривой 1 на рис.1 показывает, что в области малых размеров частиц  $\Delta d$  резко увеличивается. Такой характер зависимости  $\Delta d(d)$  нерационально. Однако его можно изменить, если перед АЦП в МПУ установить логарифмический преобразователь. Тогда зависимость  $\Delta d(d)$  примет вид, который графически отображается кривой 2 на рис.1 (с уменьшением  $d$  шаг дискретизации  $\Delta d$  уменьшается по линейному

закону). Такой характер зависимости  $\Delta d(d)$  в наилучшей степени соответствует требованиям.

Таким образом, особенностью построения МПУ, используемого в составе системы диагностирования технического состояния гидроагрегатов по параметрам частиц износа, генерированных в рабочую жидкость узлами трения, является необходимость применения в их составе логарифмического преобразователя для коррекции нелинейности зависимости  $U(d)$  ДВК.

#### Список использованных источников

1. Логвинов Л.М., Поминов Е.И., Кудрявцев И.А. и др. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа // Ремонт, восстановление, модернизация. 2002. №3. С.8-13.
2. Логвинов Л.М., Ковалев М.А. Математическое моделирование технического состояния трибомеханических узлов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2007. №2. С.25-28.

## АППРОКСИМАТИВНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРИБОМЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ ГИДРОСИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ЛАГЕРРА

М.А.Ковалев, К.Ю.Мальчиков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Рост числа летных происшествий в последний период времени, а также высокая конкуренция в сфере авиаперевозок вынудили общественность и специалистов пристальнее взглянуть на проблему надежности авиационной техники.

Значительная доля отказов авиационной техники приходится на агрегаты гидросистемы. Поэтому актуальной является проблема разработки диагностических средств, позволяющих повысить надежность гидроагрегатов. Одним из направлений разработки таких средств является создание систем функциональной диагностики, определяющих техническое состояние гидроагрегатов на основе анализа дисперсного состава частиц (концентрация и размер частиц) износа, генерируемых узлами трения этих агрегатов в рабочую жидкость. Анализируя количество и размер таких частиц в рабочей жидкости, можно прогнозировать состояние и остаточный ресурс агрегата гидросистемы [1-3].

Для решения задачи диагностики узлов трения по изменению дисперсного состава частиц износа в рабочей жидкости наиболее широкое распространение нашли датчики встроенного контроля (ДВК), определяющие

дисперсный состав частиц загрязнения на основе фотоэлектрического метода [2]. Такие ДВК имеют порог чувствительности (минимальный размер регистрируемой частицы загрязнения) 5 мкм. Это ограничение обусловлено действием шумов фотоэлектрического преобразователя и параметрического усилителя ДВК. Однако для решения некоторых задач важно знать распределение дисперсного состава частиц износа в диапазоне размеров менее 5 мкм.

Для преодоления ограничения по чувствительности предлагается использовать математический аппарат аппроксимативного анализа [4]. Известно, что распределение дисперсного состава частиц загрязнения рабочей жидкости подчиняется логнормальному закону [3]. Поэтому в данном случае можно применить метод аппроксимации плотности вероятности распределения дисперсного состава частиц износа на основе функции заданного вида (логнормальной функции) [4]. Определив параметры этого распределения на основе значений, полученных в диапазоне более 5 мкм, можно с достаточной точностью спрогнозировать значения распределения дисперсного состава частиц в диапазоне размеров менее 5 мкм. Однако, анализ результатов такой аппроксимации показал, что в некоторых ситуациях она не дает требуемой точности прогнозирования.

В этих случаях целесообразно раскладывать плотность вероятности в ряд по той или иной системе ортогональных функций. Одной из таких систем являются ортогональные функции Лагерра [4,5], имеющие вид

$$Lag_k(x, \alpha) = \sum_{s=0}^k \frac{k!}{(k-s)!} \cdot \frac{(-\alpha \cdot x)^s}{(s!)^2} e^{-\frac{\alpha \cdot x}{2}}, \quad (1)$$

и удовлетворяющие условию:

$$\int_0^{\infty} Lag_k(x, \alpha) \cdot Lag_n(x, \alpha) dx = \begin{cases} 0, & \text{если } k \neq n, \\ \frac{1}{\alpha}, & \text{если } k = n. \end{cases} \quad (2)$$

После того, как будут найдены оптимальные параметры, плотность вероятности может быть представлена в виде:

$$f_a(x) = \sum_{k=0}^M \beta_k Lag_k(x - x_{\min}, \alpha) \quad (3)$$

где

$$\beta_k = \alpha \int_0^{\infty} f_a(x + x_{\min}) \cdot Lag_k(x, \alpha) dx \quad (4)$$

Формула (4) – коэффициенты разложения ортогонального ряда;

$M$  – количество членов разложения ортогонального ряда,

$x_{\min}$  – минимальное значение абсциссы в области определения плотности вероятности;

$\alpha$  – параметр аппроксимирующего выражения.

Так как аппроксимируемая функция не монотонна (имеется максимум), то для повышения точности в некоторых случаях можно использовать метод двусторонней аппроксимации с максимумом в точке  $x_{\max}$ . В этом случае полученная модель плотности вероятности примет вид:

$$f_a(x) = y_{\max} \left( \sum_{k=0}^{M_L} \beta_{k,L} \text{Lag}_k(x_{\max} - x, \alpha_L) \mathbb{1}(x_{\max} - x) + \sum_{k=0}^{M_n} \beta_{k,n} \text{Lag}_k(x_{\max} - x, \alpha_n) \mathbb{1}(x_{\max} - x) \right), \quad (5)$$

где  $\beta_{k,n} = \alpha_n \int_0^{\infty} f_a(x_{\max} - x) \cdot \text{Lag}_k(x, \alpha_n) dx$  - коэффициенты разложения левой ветви,

$\beta_{k,L} = \alpha_L \int_0^{\infty} f_a(x + x_{\max}) \cdot \text{Lag}_k(x, \alpha_L) dx$  - коэффициенты разложения левой ветви,

$$\mathbb{1}(x) = \begin{cases} 1, & x > 0, \\ \frac{1}{2}, & x = 0, \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad \mathbb{1}(-x) = \begin{cases} 0, & x > 0, \\ \frac{1}{2}, & x = 0, \\ 1, & x < 0. \end{cases}$$

В некоторых случаях для повышения точности аппроксимации в формулах (3) и (5) рекомендуется вместо коэффициентов  $\beta_k$  и  $\beta_{k,n(n)}$  использовать коэффициенты:

$$b_k = \beta_k + \frac{f_a(x_{\min}) - \sum_{k=0}^M \beta_k}{M+1}, \quad (6)$$

$$b_{k,n(n)} = \beta_{k,n(n)} + \frac{y_{\max} - \sum_{k=0}^{M_{n(n)}} \beta_{k,n(n)}}{M_{n(n)}+1}.$$

С целью проверки работоспособности синтезированного алгоритма (1) – (4) и (6) была разработана программная оболочка, позволяющая вво-

дить экспериментальные данные и обрабатывать их на основе синтезированного алгоритма. Для проверки алгоритма использовались экспериментальные данные [3]. Расчет проводился для 20 дифференциальных коридоров при  $M=10$  и при  $\alpha=1$ . Результаты обработки представлены на рисунках 1 и 2. Анализ результатов показал, что в случае использования коэффициента разложения  $\beta_k$  относительная погрешность  $\delta$  [4] составляет 0,605%, а при использовании  $b_k$  -  $\delta=1,021\%$ , то есть применение коэффициентов  $b_k$  в данном случае не позволяет повысить точность аппроксимации. Оценивая степень соответствия рассчитанных значений погрешностей требуемой точности, необходимо учитывать высокую нестабильность дисперсного состава частиц износа в рабочих жидкостях гидросистем.

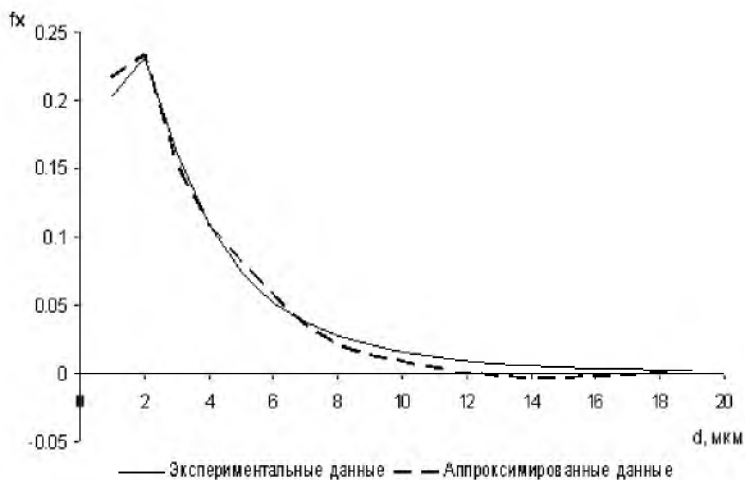


Рис. 1. Аппроксимация функциями Лагерра с использованием коэффициентов разложения  $\beta_k$

Эта нестабильность обусловлена процессами коагуляции (объединения), раскола, осаждения частиц, протекающими с большой скоростью. Поэтому на практике допустимым значением погрешности определения дисперсного состава частиц износа является величина  $\delta = 20 \dots 30\%$  [1]. Из этого следует, что аппроксимация опытных данных дисперсного состава частиц износа, генерированных в рабочую жидкость гидравлических систем парами трения, на основе ортогональных функций Лагерра дает вполне приемлемый результат.

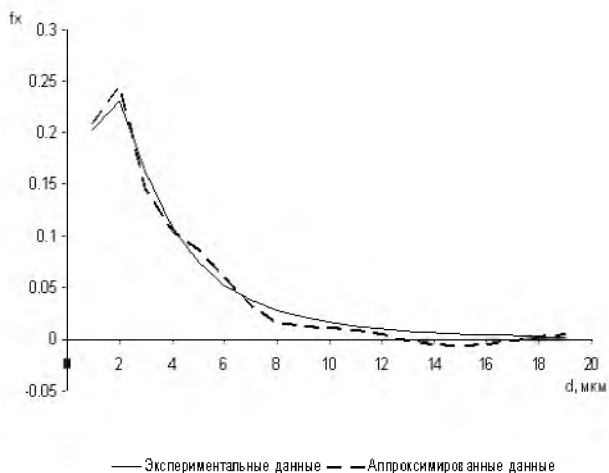


Рис. 2. Аппроксимация функциями Лагерра с использованием коэффициентов разложения  $b_k$

Эта нестабильность обусловлена процессами коагуляции (объединения), раскола, осаждения частиц, протекающими с большой скоростью. Поэтому на практике допустимым значением погрешности определения дисперсного состава частиц износа является величина  $\delta = 20 \dots 30\%$  [1]. Из этого следует, что аппроксимация опытных данных дисперсного состава частиц износа, генерированных в рабочую жидкость гидравлических систем парами трения, на основе ортогональных функций Лагерра дает вполне приемлемый результат.

#### Список использованных источников

1. Логвинов Л.М., Поминов Е.И., Кудрявцев И.А. и др. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2002. №3. С.8-13.
2. Логвинов Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости. - М.: ЦНТИ Поиск, 1992. - 91 с.
3. Fitch E.C. Fluid contamination control // Technology transfer Series #4, Oklahome, FFS, INC. 1988. - 433 p.
4. Прохоров С.А. Аппроксимативный анализ случайных процессов. - Самара: СГАУ, 2001. - 329 с.
5. Прохоров С.А., Дегтярева О.А. Аппроксимация плотности вероятности ортогональными функциями Лагерра и получение аналитических выражений для характеристических функций по параметрам модели. - Электронный научный журнал ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ.

## ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕВИАЦИИ ЧАСТОТЫ ЛИНЕЙНО-ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ ИМПУЛЬСОВ

Б.В.Шишлин

Тольяттинский филиал Самарского государственного аэрокосмического университета, г. Тольятти

В настоящее время широкое распространение в радиотехнике получили сверхширокополосные сигналы (другое название шумоподобные). Одним из самых распространенных сигналов являются линейно-частотно-модулированные (ЛЧМ) импульсы, имеющие большую базу  $B = \Delta f_c \cdot \tau_n$ , где:  $\Delta f_c$  – ширина спектра сигнала, для ЛЧМ сигнала равная девиации частоты  $\Delta f_c = \Delta f_d = f_{\max} - f_{\min}$ ;  $\tau_n$  – длительность импульса. Такие сигналы используются в радиолокационных системах. База используемых сигналов составляет 100 и более. При этом длительность сигналов может составлять от единиц микросекунд до десятков миллисекунд в зависимости от режима работы. Особый интерес представляет измерение коротких ЛЧМ импульсов с большой девиацией частоты, особенно одиночных.

Для измерения девиации частоты таких сигналов предлагается использовать дисперсионную линию задержки (ДЛЗ) [1], в качестве которой может быть использован дисперсионный фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ) отражательного типа с большой базой ( $B > 10000$ ,  $B = \Delta f_{\text{ДЛЗ}} \cdot \tau_{\text{ДЛЗ}}$ , где:  $\Delta f_{\text{ДЛЗ}}$  – ширина полосы пропускания ДЛЗ;  $\tau_{\text{ДЛЗ}}$  – максимальная дисперсия ДЛЗ ( $\tau_{\text{ДЛЗ}}$  – длительность ЛЧМ отклика ДЛЗ при подаче на ее вход дельта-импульса)) и малым уровнем ложных сигналов [2]. Способ измерения заключается в следующем.

Входной ЛЧМ радиоимпульс с центральной частотой  $f_c$  и длительностью  $\tau_n$  со знаком скорости  $\gamma_c$  частотной модуляции (ЧМ), совпадающий с наклоном дисперсионной характеристики ДЛЗ и полосой  $\Delta f_c$ , входящей в полосу пропускания  $\Delta f_{\text{ДЛЗ}}$ , поступает на вход ДЛЗ. Если полоса частот сигнала и наклон скорости ЧМ не совпадает с характеристиками ДЛЗ, предварительно используется преобразование сигнала с помощью преобразователя частоты. На выходе ДЛЗ будет ЛЧМ радиоимпульс, задержанный на время  $t'_0$  и длительностью  $\tau_{\text{вых}}$ , где  $t'_0 = t_0 + \text{trp}(f_n)$  – определяется задержкой  $t_0$  за счет конструкции ДЛЗ и задержкой  $\text{trp}(f_n)$  за счет дисперсии ДЛЗ в зависимости от начальной частоты ЛЧМ радиоимпульса.  $\tau_{\text{вых}}$  определяется из соотношения:

$$\tau_{\text{вых}} = \tau_n + \tau'_{\text{ДЛЗ}} = \tau_n + (\Delta f_c \cdot \tau_{\text{ДЛЗ}}) / \Delta f_{\text{ДЛЗ}}$$

Таким образом на выходе ДЛЗ будет ЛЧМ радиоимпульс расширенный по длительности на величину  $\tau'_{\text{ДЛЗ}} = (\Delta f_c \cdot \tau_{\text{ДЛЗ}}) / \Delta f_{\text{ДЛЗ}}$ , т.е. пропорционально ширине спектра  $\Delta f_c$  измеряемого ЛЧМ радиоимпульса. Разработан-



ные в настоящее время ДЛЗ позволяют увеличить длительность ЛЧМ радиоимпульсов в десятки, и даже сотни раз в зависимости от ширины спектра и длительности входного ЛЧМ сигнала.

Выделяя огибающую расширенного ЛЧМ радиоимпульса длительностью  $\tau_{\text{вых}}$  с помощью детектора, а также огибающую входного сигнала длительностью  $t_i$  (для внесения поправки в результат измерения) можно измерить длительность  $\tau'_{\text{длз}}$  расширенного ЛЧМ радиоимпульса, а значит и девиацию (ширину спектра) частоты. Для измерения длительности можно применить время - импульсный метод, используя для подсчета импульсов тактовой частоты реверсивный счетчик. При этом счетчик вначале будет работать на считывание по первому счетному входу, подсчитывая число тактовых импульсов в стробе длительностью  $\tau_{\text{и}}$ , по окончании которого в счетчике будет записано число  $N1$ . С приходом строба огибающей с выхода ДЛЗ (этот сигнал необходимо дополнительно задержать чтобы исключить перекрытие во времени входного и расширенного импульсов, но используя уже например, элементы цифровой техники), счетчик будет работать на заполнение, подсчитывая число  $N2$  тактовых импульсов по второму счетному входу, в стробе длительностью  $\tau_{\text{вых}}$ , по окончании которого в счетчике будет записано число равное разности  $N1 - N2$ . Это число будет определять величину девиации частоты (ширину спектра) измеряемого ЛЧМ радиоимпульса. На индикаторе подключенного к выходам счетчика будет отображаться число

$$N1 - N2 = \tau'_{\text{длз}} = \Delta f_c / \gamma_{\text{длз}},$$

где  $\gamma_{\text{длз}} = \Delta f_{\text{длз}} / \tau_{\text{длз}}$  – крутизна дисперсионной характеристики ДЛЗ.

Выбирая крутизну дисперсионной характеристики кратной  $10^k$  (где  $k = 0, +1, +2, \dots, n$ ), можно легко учесть её при измерении, путем переноса запятой в показаниях индикатора. Причем, чем меньше крутизна ДЛЗ, тем точность измерения будет выше. Погрешность измерения будет определяться в основном частотой тактового генератора, которая в свою очередь зависит от максимально возможной рабочей частоты реверсивного счетчика.

#### Список использованных источников

1. Н.Г. Батулин, Б.В. Струков, Б.В. Шишкин./А.С. №1762257/ Б.И. 15.09.1992.
2. Морган Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах: - М.: Радио и связь, 1990.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АНАЛОГО-ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ

А.М. Косолапов, С.В. Думин, А.В. Лукин  
Самарская государственная академия путей сообщения, г. Самара

Использование исключительно аналоговых либо цифровых способов обработки сигналов в измерительных преобразователях мощности имеет ряд недостатков и ограничений. Аналоговые устройства достаточно широкополосны, но не обеспечивают необходимую точность, а цифровые устройства имеют малую погрешность только в низкочастотном диапазоне. Решение проблемы, связанной с обеспечением точности и широкополосности, достигается использованием аналого-дискретного способа обработки сигналов.

Для анализа характеристик измерительных преобразователей часто используются методы, основанные на математическом или физическом моделировании. Первый вариант применительно к аналого-дискретным системам приводит к очень сложным математическим моделям, обладающим плохой обзорностью и ограниченными возможностями их применения для анализа систем высокой точности. Второй вариант ведет к большим временным и материальным затратам. В связи с появлением современных высокопроизводительных ЭВМ актуальным представляется структурно-алгоритмический метод моделирования при помощи системы Simulink пакета MATLAB. Он лишен вышеуказанных недостатков и предоставляет широкие возможности по анализу характеристик моделей измерительных преобразователей.

При помощи предложенного метода была исследована модель аналого-дискретного измерителя мгновенных значений мощности, построенная на основе следующих математических моделей:

$$z' = xy = x_i y_i + x_i \Delta y + \Delta x y_i + \Delta x \Delta y, \quad (1)$$

$$z' = x_i y + (\Delta x y_i + \Delta x \Delta y). \quad (2)$$

Построенная в Simulink модель позволяет проводить исследования при различных параметрах измерителя мощности. Ввод инерционных звеньев и источников помех дает возможность оценить статические и динамические погрешности устройства.

Исследования модели, показали, что такое решение может быть использовано в системах измерения активной мощности в диапазоне частот от

1 Гц до 20 кГц, обеспечивая при этом максимальное значение приведенной погрешности порядка 0,1 - 0,4%.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МЕХАНИЗМА ТРИБОМЕТРИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ ЧИСТОТЫ ПОВЕРХНОСТИ

Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский,  
Н.А. Ивлиев

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Прибор для измерения чистоты поверхности трибометрическим методом, предложенный в работах [1,2] позволяет осуществлять контроль чистоты поверхности подложек в диапазоне  $10^{-6}$ -  $10^{-9}$  г/см<sup>2</sup>, что соответствует технологически чистым поверхностям, используемым в микроэлектронике. Однако для данного прибора остается открытым вопрос о влиянии трибометрического взаимодействия на свойства исследуемой поверхности и выявление возможностей повышения разрешающей способности трибометрического прибора.

В настоящей работе приведены исследования поверхности подложки до и после трибометрического измерения на СЗМ Solver PRO-M [3]. Полученные АСМ изображения показали, что микрорельефы исходной поверхности и поверхности после трибометрического взаимодействия совпадают, в том случае если нагрузка подложки-зонда на контролируемую поверхность не превышает 0,3 кг. При превышении нагрузки более предельно допустимого (0,3 кг) возможно разрушение поверхности. При таком взаимодействии происходит механическое разрушение острых пиков и поверхность в области прохождения подложки – зонда сглаживается, что можно наблюдать визуально на микрофотографиях поверхности. Кроме того, в работе приведено АСМ изображение поверхности контролируемой подложки после трибометрического взаимодействия при угле между подложкой-зондом и контролируемой подложкой  $\beta > 6^{\circ}$ , на котором можно наблюдать царапины, образующиеся в результате взаимодействия острых боковых граней шлифованных торцов подложки-зонда с контролируемой поверхностью. В то же время измерения чистоты поверхности при углах  $40^{\circ} < \alpha \leq 60^{\circ}$  и  $\beta = 4 \dots 6^{\circ}$  соответствующих оптимальным диапазонам не приводят к разрушению механических свойств поверхности.

Предложено использовать в окнах шторки, формирующей с помощью прерывания светового потока измерительные импульсы, пропорциональные чистоте поверхности, дифракционные решетки с периодом решетки, определяемым по формуле

$$T = \frac{2\lambda R}{\sqrt{b^2 - \lambda^2}}.$$

При этом, при длине волны светодиода  $\lambda = 0,25$  мкм, ширине щели дифракционной решётки  $b = 10$  мкм, период решётки определяется упрощенно  $T=0.05R$  и при  $R=1$  мм он составит 50 мкм. Сравнительный анализ размеров отверстия в металлическом диске и периода дифракционной решетки позволяет сделать вывод: применение дифракционной структуры повышает разрешающую способность трибометрического прибора в 20 раз путем разбиения траектории скольжения подложки-зонда на участки протяженностью 50 мкм, в области которых и осуществляется измерение чистоты поверхности подложки.

Измеряемые прибором значения длительностей импульсов пропорциональные скорости перемещения подложки-зонда программное обеспечение переводит в численные значения концентрации загрязнений поверхности исследуемой подложки по формуле:

$$C_d = \left(1 - V_{sl}\right) C_{d\min} + C_{d\max} V_{sl} = \left(1 - \frac{\tau_0}{\tau}\right) C_{d\min} + C_{d\max} \frac{\tau_0}{\tau}.$$

Таким образом, в результате проведенных исследований, выявлены условия налагающие ограничения на вес подложкодержателя подложки-зонда, и экспериментально подтвержден неразрушающий характер трибометрического взаимодействия подложек при измерении чистоты поверхности в оптимальных режимах и значениях геометрических параметров расположения подложек. Показана возможность повышения разрешающей способности трибометрического прибора и дано выражение для перевода измеряемых величин в контролируемую величину чистоты поверхности.

#### Список использованных источников

1. Колпаков В.А., Колпаков А.И., Кричевский С.В. Устройство экспресс-контроля чистоты поверхности диэлектрических подложек // Ириборы и техника эксперимента. - 1995. №5. С.199-200.
2. Казанский Н.Л., Колпаков А. И., Колпаков В.А., Кричевский С.В., Ивлиев Н.А. Способ измерения чистоты поверхности подложек Заявка № 2005118279/28(020754) от 14.06.2005.
3. Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский, Н.А. Ивлиев. Исследование особенностей трибометрического взаимодействия диэлектрических подложек при экспресс-контроле степени чистоты их поверхности // Компьютерная оптика. 2007. - №31. С. 42-46.

## ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЧНОГО ФОТОПРИЕМНИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ

И.А. Кудрявцев, Д.В. Корнилин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В процессе производства и эксплуатации гидравлических систем и их компонентов вопрос поддержания чистоты имеет первостепенное значение, так как наличие механических примесей, в том числе частиц с абразивными свойствами, в рабочей жидкости приводит к сокращению ресурса агрегатов и увеличению риска отказа. В системах авиационного назначения отказ гидравлического оборудования может иметь катастрофические последствия, поэтому остро стоит вопрос оперативной диагностики их технического состояния. Одним из наиболее перспективных методов диагностики, не требующих остановки системы, является мониторинг параметров дисперсной фазы, содержащейся в рабочей жидкости. Параметры дисперсной фазы могут определить такие ситуации, как катастрофический износ узлов трения в системе, низкую эффективность фильтрации, деградацию самой рабочей жидкости. В ОНИЛ-16 СГАУ разработана серия анализаторов параметров рабочей жидкости, ориентированных на анализ отобранных проб или применение встроенных в магистраль датчиков. Последний вариант является оптимальным в смысле оперативности и точности контроля, а также незаменим в системах с токсичной рабочей жидкостью.

Наиболее подходящим для анализа параметров дисперсной фазы является фотоэлектрический метод, при котором размер частиц механических примесей и концентрация их в исследуемой жидкости определяется путем анализа изменений интенсивности оптического излучения вследствие поглощения. Разработанные анализаторы позволяют определять концентрацию дисперсной фазы до  $1000 \text{ см}^{-3}$  и регистрировать частицы крупнее 2 мкм. При этом результаты анализа выдаются оператору в виде класса чистоты жидкости по ГОСТ 17216-2001. Такой подход соответствует современным технологическим требованиям, применяемым в авиации при производстве и эксплуатации гидравлических систем и агрегатов.

При этом в качестве фотоприемника достаточно использовать фотодиод, что упрощает схему датчика и упрощает его адаптацию к тяжелым условиям эксплуатации. Однако описанное решение не позволяет определять форму частиц дисперсной фазы и ограничивает в ряде случаев точностные параметры анализатора. Например, при определенных сочетаниях гидравлических условий течения жидкости датчик может выдавать ложные срабатывания, предположительно вызванные оптическими неоднородностями в жидкости, не имеющими отношения к механическим примесям.

Другая проблема связана с формированием пузырьков газа, растворенного в жидкости, при резких снижениях давления в магистрале.

Повысить эффективность анализа параметров дисперсной фазы предполагается с помощью применения матричного фотоприемника. Анализ современной элементной базы показывает, что оптимальным выбором является КМДП матрица. В настоящее время имеются матрицы с размером пикселей от 2-5 мкм, что позволяет анализировать форму самых малых частиц, представляющих информационный интерес. По сравнению с матрицами ПЗС, матрицы КМДП отличаются тем преимуществом, что позволяют электронным способом перестраивать апертуру и тем самым изменять время интегрирования (частоту кадров видеозображения). На кристалле КМДП матрицы часто имеются встроенные АЦП, позволяющие упростить схему обработки и увеличить помехоустойчивость датчика в целом. Расчеты показывают, что чувствительность матрицы вполне достаточна для обнаружения достаточно малых частиц, кроме того, за счет обработки получаемых данных, достоверность информации может быть дополнительно увеличена.

Одной из важных проблем на пути реализации анализатора на базе матричного фотоприемника, является ограниченное быстродействие, в результате чего изображение частицы размывается. Однако, предлагаемый алгоритм обработки позволяет получить достоверную информацию о размерах тени частицы с помощью анализа распределения освещенности в получаемом пятне. Компьютерное моделирование показывает, что погрешность определения размера частицы может быть сведена к минимуму при условии, что след от частицы по длине соизмерим с размером матрицы.

Другая проблема связана с фокусировкой изображения на поверхности матрицы. Здесь основным мешающими факторами являются значительный размер апертуры излучателя и непараллельность пучка излучения. Для большинства современных излучателей, включая полупроводниковые лазеры, эти параметры не позволяют добиться четкого изображения частицы на поверхности матрицы без применения оптических систем. Малоэффективно также применение диафрагмы, причем ситуация усложняется тем, что конструктивные соображения требуют, чтобы частица находилась от поверхности матрицы на расстоянии не менее 1-2 мм. Однако, введение уже одной собирающей линзы позволяет добиться четкого изображения. При этом необходима фокусировка, а наличие линзы усложняет конструкцию и увеличивает оптические потери на пути прохождения излучения.

Обработка сигнала фотоприемника либо требует применения достаточно производительного процессора в самом датчике, либо может быть реализована в персональном компьютере с передачей «сырых» данных через интерфейс USB в режиме HS. В первом варианте по совокупности па-

раметров, включая производительность и энергопотребление, возможным выбором является сигнальный процессор семейства BLACKFIN от фирмы Analog Devices.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЦ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ В РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ГИДРОСИСТЕМ**

М.А.Ковалев, Д.С.Рысин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В настоящее время все более широкое применение находят гидросистемы, функциональную диагностику которых целесообразно проводить на основе анализа дисперсного состава частиц износа (концентрация и размер частиц), генерируемых узлами трения в рабочую жидкость [1,2,3]. Анализируя количество и размер таких частиц, можно достаточно точно прогнозировать состояние и остаточный ресурс того или иного агрегата и узла системы.

Важной тенденцией в развитии гидросистем воздушных судов (ВС) является увеличение в них рабочего давления, что позволяет при малых массово - габаритных характеристиках элементов гидросистем достичь высокой мощности и производительности. Однако увеличение рабочего давления в гидросистеме приводит к значительному возрастанию требований к уровню чистоты рабочей жидкости и к тонкости ее фильтрации. Использование фильтрации тонкостью 5 мкм и менее приводит к существенному увеличению гидравлического сопротивления фильтра и к возрастанию стоимости эксплуатации авиационной техники, связанной с усложнением методики обслуживания фильтров. На этом фоне существенно возрастет актуальность решения задачи оперативного контроля уровня загрязнения рабочей жидкости гидросистем ВС.

Для решения задачи диагностики узлов трения по изменению дисперсного состава примесей рабочих жидкостей используются различные датчики встроенного контроля (ДВК), разработанные в ОНИЛ-16 СГАУ, которые с высокой точностью и надежностью определяют дисперсный состав частиц размером более 5 мкм. Однако разработать ДВК, определяющие дисперсный состав частиц размером менее 5 мкм, до настоящего времени пока не удалось в силу определенных технических проблем [2].

Одним из направлений решения задачи определения дисперсного состава частиц износа размером менее 5 мкм является разработка сверхчувств-

вительных ДВК. Однако это направление сопряжено с серьезными техническими сложностями и требует дополнительных материальных затрат.

Другим направлением решения поставленной задачи является разработка новых методов обработки сигналов, формируемых ДВК. Для этого предлагается использовать математический аппарат аппроксимативного анализа [4]. Учитывая, что распределение дисперсного состава частиц загрязнения рабочей жидкости подчиняется логнормальному закону и, определив параметры этого распределения на основе значений, полученных в диапазоне более 5 мкм, можно с достаточной точностью спрогнозировать значения распределения дисперсного состава частиц в диапазоне размеров менее 5 мкм.

С учетом отмеченного выше плотность вероятности дисперсного состава частиц износа может быть описана следующей функцией

$$f(x, a, \sigma_x) = \frac{1}{x\sigma_x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1)$$

где  $a$  и  $\sigma_x$  – соответственно натуральные логарифмы математического ожидания и среднеквадратического отклонения значений размеров частиц износа  $x$ .

Для определения параметров аппроксимирующей функции (1) целесообразно воспользоваться методом наименьших квадратов [4], который предполагает выбор таких значений  $a$  и  $\sigma_x$ , которые минимизировали бы суммы квадратов отклонений измеренных значений  $\hat{f}_j$  – значений плотности распределения вероятности в середине  $j$ -того дифференциального коридора  $x_j$ , от соответствующих значений функции (1), т.е.

$$\Delta = \sum_{j=1}^M [\hat{f}_j - f(x_j, a, \sigma_x)]^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $M = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\Delta x}$  – число дифференциальных коридоров;  $x_{\min}$  и  $x_{\max}$  – соответственно минимальное и максимальное значения размеров частиц износа;  $\Delta x$  – интервал дискретизации, значение которого выбирается из следующего условия:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{8\delta}{|F''(x)|_{\max}}}. \quad (3)$$

Здесь  $\delta$  – погрешность аппроксимации функции распределения;  $|F''(x)|_{\max}$  – максимальное значение модуля второй производной функции распределения.



Формула (1) определяет некоторое множество функций, из которого надлежит выбрать наилучшую в смысле (2). Поскольку величина  $\Delta$  есть функция  $a$  и  $\sigma_x$ , то необходимое условие минимума (2) сводится к приравнению производной от  $\Delta$  по  $a$  и  $\sigma_x$  к нулю

$$f_1(a, \sigma_x) = \sum_{j=1}^M [\hat{f}_j - f(x_j, a, \sigma_x)] \frac{\partial f(x_j, a, \sigma_x)}{\partial a} = 0, \quad (4)$$

$$f_2(a, \sigma_x) = \sum_{j=1}^M [\hat{f}_j - f(x_j, a, \sigma_x)] \frac{\partial f(x_j, a, \sigma_x)}{\partial \sigma_x} = 0,$$

где

$$\frac{\partial f(x_j, a, \sigma_x)}{\partial a} = \frac{\ln x_j - a}{\sigma_x^2} f(x_j, a, \sigma_x), \quad (5)$$

$$\frac{\partial f(x_j, a, \sigma_x)}{\partial \sigma_x} = \frac{(\ln x_j - a)^2 - \sigma_x^2}{\sigma_x^3} f(x_j, a, \sigma_x).$$

В виду сложности нахождения аналитического решения задачи (4) - (5) для решения нелинейных уравнений использовался численный метод Ньютона. При этом было получено:

$$a_{n+1} = a_n - \frac{1}{\Delta'} \left[ \frac{\partial f_2}{\partial \sigma_x} f_1(a_n, \sigma_{x_n}) - \frac{\partial f_1}{\partial \sigma_x} f_2(a_n, \sigma_{x_n}) \right], \quad (6)$$

$$\sigma_{x_{n+1}} = \sigma_{x_n} - \frac{1}{\Delta'} \left[ \frac{\partial f_2}{\partial a} f_1(a_n, \sigma_{x_n}) - \frac{\partial f_1}{\partial a} f_2(a_n, \sigma_{x_n}) \right], \quad (7)$$

где  $\Delta' = \frac{\partial f_1}{\partial a} \frac{\partial f_2}{\partial \sigma_x} - \frac{\partial f_1}{\partial \sigma_x} \frac{\partial f_2}{\partial a}$ .

В качестве начальных условий для решения уравнений (6), (7) целесообразно использовать значения, рассчитанные на основе опытных данных согласно выражениям

$$a = \ln \left( \sum_{j=1}^M (\hat{f}_j \cdot x_j) \right), \quad \sigma_x = \ln \left( \sum_{j=1}^M (\hat{f}_j \cdot (x_j - a)^2) \right). \quad (8)$$

В целях подтверждения работоспособности полученного алгоритма был проведен машинный эксперимент, в ходе которого решались две задачи:

- 1) аппроксимация опытных данных функцией (1) в полном диапазоне размеров частиц износа (в том числе и на интервале 1...5 мкм), проверка соответствия полученной функции опытным данным на основе критерия Пирсона и оценка погрешности аппроксимации;

- 2) аппроксимация опытных данных функцией (1) в диапазоне размеров частиц износа более 5 мкм, проверка соответствия полученной функции опытным данным на основе критерия Пирсона, оценка погрешности аппроксимации в полном диапазоне размеров частиц и оценка погрешности предсказания в диапазоне менее 5 мкм.

При решении второй задачи предполагалось, что значения распределения дисперсного состава частиц износа в диапазоне менее 5 мкм неизвестно. Это значительно усложняет задачу аппроксимации, поскольку при этом общее количество частиц становится неизвестным. В результате в системе, образуемой уравнениями (6), (7), появляется третья неизвестная величина, и для того, чтобы систему можно было решить необходимо включить в нее еще одно уравнение. В качестве такого уравнения было использовано условие нормировки для плотности вероятности

$$\int_0^{\infty} f(x, a, \sigma_x) dx = 1 \quad \text{или} \quad \sum_{j=1}^M [f(x_j, a, \sigma_x) \cdot \Delta x_j] = 1. \quad (9)$$

Таким образом, для решения задачи аппроксимации опытных данных функцией (1) при неизвестном количестве частиц размером менее 5 мкм необходимо решить систему, состоящую из уравнений (6) - (8) (в которых  $j$  изменяется в диапазоне от 5 до  $M=x_x$ ) и (9).

Для удобства обработки экспериментальных данных на основе алгоритма (6) - (9) с использованием среды программирования Delphi была разработана программная оболочка, которая позволяет вводить опытные данные, рассчитывать оптимальные значения  $a$  и  $\sigma_x$ , а также строить графики экспериментального  $\hat{f}_j$  и расчетного  $f(x, a, \sigma_x)$  распределений плотностей вероятностей дисперсного состава частиц износа.

В результате проведения эксперимента на основе опытных данных, приведенных в [3], было установлено, что аппроксимация дисперсного состава частиц износа в рабочих жидкостях гидравлических систем на основе логнормального закона дает вполне приемлемый результат. Кроме того, существует возможность предсказания с достаточной точностью дисперсного состава частиц и в диапазоне размеров менее 5 мкм на основе аппроксимации опытных данных в диапазоне размеров более 5 мкм.

Следует также отметить, что в настоящее время контроль чистоты рабочих жидкостей гидравлических систем осуществляется с использованием ГОСТ 17216-2001. Для гидросистем ВС рекомендуется использовать рабочие жидкости с уровнем загрязнения, соответствующим 3...12 классу ГОСТа. Для этих классов предполагается определение дисперсного состава частиц износа в 6 дифференциальных коридорах с различными интервалами дискретизации размеров частиц: 5...10, 10...25, 25...50, 50...100, 100...200 мкм и волокна. Причем волокна и пятый дифференциальный коридор

(100...200 мкм) для анализа на основе рассмотренного алгоритма не подходят поскольку количество частиц в данных группах небольшое, а следовательно, велик фактор случайности. Такого количества дифференциальных коридоров  $M$  явно недостаточно для определения параметров  $a$  и  $\sigma_x$  аппроксимирующей функции (1) с достаточной точностью. Отсюда вытекает необходимость применения некоторой отличной от используемой на практике методики подсчета частиц износа. Согласно такой методике число частиц износа должно определять в таком количестве дифференциальных коридоров, которое бы с учетом (3) обеспечило заданную точность определения параметров распределения (1), и, соответственно, требуемую точность прогнозируемых значений распределения дисперсного состава частиц износа.

#### Список использованных источников

1. Логвинов Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости. – М.: ЦНТИ Поиск, 1992. 91с.
2. Логвинов Л.М., Поминов Е.И., Кудрявцев И.А. и др. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2002. №3. С.8-13.
3. Fitch E.C. Fluid contamination control // Technology transfer Series #4, Oklahome, FFS, INC. 1988. – 433 p.
4. Прохоров С.А. Аппроксимативный анализ случайных процессов. – Самара: СГАУ, 2001. - 329с.

### ПРОГРАММА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

А.П. Погодин, А.В. Пияков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Задача нахождения траекторий заряженных частиц в электростатических системах произвольных заданных геометрических конструкций и проведения различных статистических экспериментов с ними приводит к необходимости численного решения уравнения Лапласа и уравнений движения. Существует большое число коммерческих программных продуктов подобные и более сложные задачи от учебно-вспомогательных таких как MathLab до профессиональных инженерных – ANSYS. Однако первые мало приспособлены для решения реальных задач так как имеют небольшую точность

решения и сложности с вводом и выводом данных. Последние же чрезмерно универсальны, дороги и сложны в освоении.

В ходе работ по разработке циклического ускорителя для моделирования воздействия высокоскоростных пылевых частиц был разработан набор программ решающий вышепоставленную задачу. Исходными требованиями при разработке были простота использования и гибкость при достаточной точности.

При моделировании решаются три основные задачи:

1. Нахождение распределения напряженности поля или потенциала в заданном объеме.
2. Решение уравнения движения заряженной частицы в заданном поле.
3. Проведение серий экспериментов по моделированию движения частицы и обобщения их результатов.

Для решения первой задачи в основном используют методы конечных разностей, конечных элементов и метод моделирования зарядов. В разработанном пакете программ используется метод конечных разностей.

Для решения уравнения движения используется метод Эйлера, а последняя задача сводится дополнению второй удобными средствами составления заданий и получения результатов.

Исходные тексты программы написаны на языке программирования C++ с использованием библиотеки STL. По причинам простоты реализации программа для нахождения распределения поля написана под ОС Linux, остальные программы написаны с использованием кросс-платформенных средств (STL и Qt) и могут быть скомпилированы под различные платформы.

Простота управления предлагаемыми программами позволяет использовать их не только в инженерных вычислениях, но и для проведения лабораторных работ по изучению устройства ускорителя и сопряженным предметам. В дальнейшем планируется расширить возможности программ, добавив дополнительные методы нахождения распределения поля, разработать единый интегрированный графический интерфейс программы и внедрить программы в учебный процесс.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЛОЖНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОМЕРНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕСТОВ

А.В. Мещанов

Самарский государственный технический университет, г. Самара

При исследовании механических систем одной из главных задач является описание механического движения [1]. В процессе изучения реальных процессов, связанных с изменениями взаимного положения в пространстве материальных тел или взаимного положения частей данного тела, одним из важнейших этапов является моделирование описываемого движения.

Сущность метода комбинационного моделирования изображений сложных многокомпонентных перемещений подвижных объектов состоит в совместном использовании класса математических моделей описывающих сложные многокомпонентные перемещения с применением многомерных многокомпонентных тестовых объектов и метода многомерных тестов [2].

Цель метода заключается в построении моделей многокомпонентных перемещений подвижных объектов и нахождение алгоритмов определения [3] составляющих этих перемещений для различных практических приложений в автоматизированном режиме.

Метод комбинационного моделирования включает в себя ряд этапов:

Этап 1: Обобщенную модель системы уравнений (1) для определения составляющих сложных многокомпонентных перемещений при помощи оптических приемников изображения [2] реализуем на компьютере (строим компьютерную модель):

$$\left. \begin{aligned} Y_1(\vec{r}, \tau) &= k \left\{ \sum_k^{\{x,y,z\}} \sum_{u=1}^q \xi_{1uk} \nu_{1uk} L_{1uk} + \sum_k^{\{x,y,z\}} \sum_{j=1}^p \varsigma_{1jk} \eta_{1jk} x_{1jk}(\vec{r}, \tau) \right\}; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ Y_n(\vec{r}, \tau) &= k \left\{ \sum_k^{\{x,y,z\}} \sum_{u=1}^q \xi_{nuk} \nu_{nuk} L_{nuk} + \sum_k^{\{x,y,z\}} \sum_{j=1}^p \varsigma_{njc} \eta_{njc} x_{njc}(\vec{r}, \tau) \right\}, \end{aligned} \right\} n = p + 1 \quad (1)$$

где  $k$  - коэффициент передачи оптического преобразователя;

$Y_1(\vec{r}, \tau), \dots, Y_n(\vec{r}, \tau)$  - расстояния от выбранных на чувствительной плоскости приемника изображения меток до  $i$ -х точек изображения контролируемого объекта;

$k \in \{x, y, z\}$  - множество координатных составляющих;  $u$  - порядковый номер компонентов многокомпонентного теста  $\bar{L}_{iuk}$  ;

$j$  - порядковый номер информативных компонентов  $k$  - й координатной составляющей многокомпонентного перемещения  $\bar{X}_k(\bar{r}, \tau)$  ;

$v_{iuk} \in [0, 1]$  - весовые коэффициенты, отражающие отсутствие - 0 или наличие соответствующей части -  $(0, 1]$  соответствующей компоненты многокомпонентного теста  $\bar{L}_{iuk}$  ;  $\eta_{ijk} \in \{0, 1\}$  - весовые коэффициенты, отражающие отсутствие - 0 или наличие - 1 соответствующей информативной компоненты  $\bar{x}_{ijk}(\bar{r}, \tau)$  ;

$p$  - количество информативных компонентов многокомпонентного перемещения;

$q$  - количество компонентов  $k$ -й координатной составляющей  $\bar{L}_k$  многомерного теста  $\bar{L}$

$$\xi_{iuk}, \varsigma_{ijk} = \begin{cases} +1, \text{ если проекции векторов } \bar{L}_{iuk}, \bar{x}_{ijk} \text{ совпадают} \\ \text{направлением соответствующей оси координат;} \\ -1, \text{ если проекции векторов } \bar{L}_{iuk}, \bar{x}_{ijk} \text{ не совпадают} \\ \text{направлением соответствующей оси координат;} \\ 0, \text{ если соответствующая компонента отсутствует.} \end{cases} \quad (2)$$

Этап 2: Выбираем тип (площадь, цвет, форма и т.д.) многомерного многокомпонентного теста.

Этап 3: Посредством варьирования комбинационных коэффициентов  $v_{iuk}$ ,  $\eta_{ijk}$ ,  $\xi_{iuk}$ ,  $\varsigma_{ijk}$  и показателей  $p$  и  $q$ , моделируем изображения многокомпонентных перемещений  $\bar{X}_{ik}$  в полученной на этапе 1 компьютерной модели, решая которую получаем алгоритмы определения искомым составляющих многокомпонентных перемещений  $\bar{X}_{ik}$  для поставленной задачи.

Модель (1) вследствие наличия комбинационных коэффициентов  $v_{iuk}$ ,  $\eta_{ijk}$ ,  $\xi_{iuk}$ ,  $\varsigma_{ijk}$  и показателей  $p$  и  $q$  дает большой простор, как для реализации самого метода многомерных тестов, так и для варьирования задач определения информативных компонентов перемещений контролируемых объектов по степени их сложности и информативности. Первый показатель в значительной степени коррелирован со вторым, т.к. количест-

во компонентов информативных перемещений в модели (1) обуславливает сложность модели и, соответственно, сложность решаемой задачи.

#### Список использованных источников

1. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. В.Н. Челомей. - М.: Машиностроение, 1980. – Т. 3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под ред. Ф.М. Диментберга и К.С. Колесникова. - 1980. - 544с.
2. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Математические модели векторных многокомпонентных физических величин и метод многомерных тестов в оптических измерительных системах // Измерительная техника. - 2006. №12. С. 10-13.
3. Нестеров В.Н. Теоретические основы измерений составляющих векторных многокомпонентных физических величин // Измерительная техника. - 2004. №7.С. 12-16.

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, А.И. Колпаков, С.В. Кричевский  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Обеспечение технологической чистоты поверхности подложек, используемых для изготовления изделий дифракционной оптики, является необходимым условием для изготовления качественного дифракционного микропрофиля дифракционных оптических элементов (ДОЭ).

При субмикронной ширине полосок микропрофиля возникает проблема соизмеримости размеров загрязнений на поверхности подложки с элементами топологии ДОЭ, что в конечном итоге приводит к возникновению искажений геометрических параметров микрорельефа в процессе плазмохимического травления. Данные загрязнения носят в основном органический характер и для их полного удаления с поверхности подложки наиболее целесообразно применение финишной очистки высоковольтным разрядом [1].

В настоящей работе проведен анализ характера загрязнений поверхности подложек в рабочей камере вакуумной установки типа УВН-2М-1 показавший, что в процессе вакуумной откачки на поверхности подложки формируется мономолекулярный слой загрязнений молекулами вакуумного масла  $C_{33}H_{64}$  толщиной 1 нм.

Для удаления данного слоя плазмой высоковольтного разряда был проведен анализ механизмов формирования высоковольтного разряда, проведены исследования режимов работы газоразрядного прибора. Выяснено, что высоковольтный разряд наиболее стабилен в режимах соответствующ-

ших преобладанию  $\alpha$  - процесса ( $U < 1 \dots 1,2$  кВ, до  $I < 10$  мА) и поэтому данные режимы работы ВГП наиболее оптимальны для осуществления процесса финишной очистки поверхности подложек диоксида кремния.

Исследование механизмов взаимодействия плазмы высоковольтного разряда с мономолекулярной пленкой вакуумного масла на поверхности подложки позволило разработать методику оценки остаточных загрязнений на поверхности после финишной очистки [1]. Предложена формула оценки:

$$C_d = \rho h - \frac{BM}{N_A} \left[ (k_1 + k_3^C + k_3^H) \exp\left(\frac{U - U_{gr}}{U}\right) - 1 \right] Z(1 - Y) + \left[ \Sigma_{\ominus} Z I_n^2 (1 - Y) t, \right. \\ \left. + k_i^* k_1 Z (1 - Y) + k_e^* k_1 Y \right]$$

где  $Z = \left(1 - \frac{d}{d_{\max}}\right) \frac{1}{qeS_K}$  - параметр конструкции ВГП;

$Y = \frac{\gamma_e \eta}{(1 + \gamma_e)} \exp[(\alpha - \alpha_n) d_{\max}]$  - обобщенный коэффициент плазменного

потока;

$$\Sigma_{\ominus} = \frac{1}{1 + \frac{(k_1 + k_2^{NO})}{s_a J_n^{NO}}} + \frac{1}{1 + \frac{(k_1 + k_2^{NO_2})}{s_a J_n^{NO_2}}} + \frac{1}{1 + \frac{(k_1 + k_2^{N_2O})}{s_a J_n^{N_2O}}} + \frac{1}{1 + \frac{(k_1 + k_2^{O_2})}{s_a J_n^{O_2}}} - \text{обобщенный}$$

параметр степени заполнения поверхности активными частицами.

Экспериментальные исследования зависимости чистоты поверхности подложек от режимов облучения плазмой высоковольтного разряда позволили выявить оптимальные режимы финишной очистки высоковольтным разрядом (время облучения 10 секунд, ток разряда 3 мА, ускоряющее напряжение 1,2 кВ) [1]. Очистка поверхности подложек в данных режимах позволяет достигать технологической чистоты поверхности, что хорошо подтверждает сравнение зависимостей адгезии медных пленок к поверхности кварцевых подложек от времени их загрязнения без финишной очистки, после отжига структуры медная пленка загрязнение кварцевая подложка в высоковольтном разряде ( $I = 100$  мА;  $U = 2$  кВ;  $t = 5$  мин) и после финишной очистки. Как показали экспериментальные зависимости, подложки прошедшие финишную очистку имеют максимальную адгезию пленок равную  $18,3$  Н/мм<sup>2</sup>, в то время как для подложек без финишной очистки значения адгезии изменяются от  $16,5$  до  $4$  Н/мм<sup>2</sup>, после отжига пленки потоком низкотемпературной плазмы адгезия увеличивается до  $17,5$  Н/мм<sup>2</sup>. Причем прямолинейный и равномерный характер зависимости с максимальной адгезией для подложек с разной степенью загрязнения но прошедших одинаковую финишную очистку в оптимальном режиме говорит о том, что в дан-



ном случае органические загрязнения полностью удаляются и формируется технологически чистая поверхность.

Применение разработанной методики финишной очистки поверхности подложек при ионно-химическом травлении диоксида кремния в газоразрядной плазме  $\text{CF}_4/\text{O}_2$  позволило получить параметры поверхности микрорельефа значительно превосходящие аналогичные параметры микрорельефа, полученного с применением ВЧ плазмохимической очистки поверхности подложки. Микрорельеф отличается хорошей равномерностью и однородностью по всей площади поверхности подложки, без какого-либо проявления эффекта подтравливания с вертикальным профилем стенок, что достигается прецизионным уровнем чистоты поверхности равным  $10^{-9} \text{ г/см}^2$ , измеренным трибометрическим способом [2].

#### Список использованных источников

1. Казанский Н.Л., Колпаков А. И., Колпаков В.А., Кричевский С.В. Метод оценки остаточной концентрации органических загрязнений на поверхности диоксида кремния. Неразрушающая диагностика чистоты поверхности диэлектрических подложек // Матеріали VIII міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2007". Т.1.Київ: НАУ, 2007. - С. 14.5-14.8.

### МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО С ФУНКЦИЕЙ КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТИ ПЕРВИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

М.А.Ковалев, А.А.Сотников

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В настоящее время все более широкое применение находят гидросистемы, функциональную диагностику которых целесообразно проводить на основе анализа дисперсного состава частиц (концентрация и размер частиц) износа, генерируемых узлами трения в рабочую жидкость [1,2]. Анализируя количество и размер таких частиц в рабочей жидкости, можно достаточно точно прогнозировать состояние и остаточный ресурс того или иного агрегата и узла системы.

Для определения дисперсного состава частиц износа в рабочей жидкости наиболее широкое распространение нашли фотоэлектрические датчики встроенного контроля (ДВК) [1,2]. Напряжение на выходе такого ДВК имеет импульсную форму, причем амплитуда импульсов напряжения  $U$  на выходе ДВК связана с эквивалентным диаметром частиц  $d$  нелинейной зависимостью  $U = k \cdot d^2$ , где  $k=0,004 \text{ В/мкм}^2$ . Таким образом, зная амплитуду

импульсов, можно определить размер частицы, а, анализируя их длительность, рассчитать скорость течения и, следовательно, объем проанализированной жидкости. Такие ДВК имеют порог чувствительности (минимальный размер регистрируемой частицы загрязнения) 5 мкм. Однако для решения некоторых задач важно знать распределение дисперсного состава частиц износа в диапазоне размеров менее 5 мкм.

Для преодоления ограничения по чувствительности ДВК на основе теории аппроксимативного анализа был разработан алгоритм [3], позволяющий используя информацию о распределении частиц износа размером более 5 мкм прогнозировать значения распределения дисперсного состава частиц размером менее 5 мкм. Однако применение этого алгоритма предполагает проведение обработки сигнала на ПЭВМ и соответственно построение специальных аппаратных средств, позволяющих оцифровывать сигнал ДВК и удовлетворяющих ряду требований [4]. К таким требованиям относятся возможность обработки сигналов от нескольких ДВК, наличие логарифмического преобразователя и др.

Всем предъявляемым требованиям удовлетворяет микропроцессорное устройство (МПУ), функциональная схема которого приведена на рис.1. Помимо выполнения ряда функций, связанных с решением задачи аппроксимативного анализа сигналов на ПЭВМ, данное устройство позволяет автономно определять дисперсный состав частиц износа по размерным группам, определяемых ГОСТ 17216-2001.

Особенностью рассматриваемого устройства является наличие в схеме помимо микроконтроллера с АЦП логарифмического преобразователя, который используется с целью коррекции нелинейности зависимости  $U(d)$ . В качестве логарифмического преобразователя предлагается использовать микросхему ICL8048. Аналогово-цифровое преобразование выполняет быстродействующий микроконтроллер (МК) фирмы Philips LPC2148 (рабочая частота до 60 МГц), со встроенным интерфейсом USB.

Сигналы от двух ДВК поступают на схему коммутации, которой управляет МК. После запуска счета, путем нажатия кнопки на передней панели устройства, производится поочередное подключение измеряемых сигналов к логарифмическому преобразователю, затем преобразованное напряжение поступает на АЦП МК. Программно реализована непрерывная обработка получаемых данных – МК анализирует амплитуду и длительность поступающих импульсов и принимает решение о диаметре прошедшей сквозь ДВК частицы, и об объеме проанализированной жидкости, сохраняя данные в оперативно-запоминающем устройстве (ОЗУ).

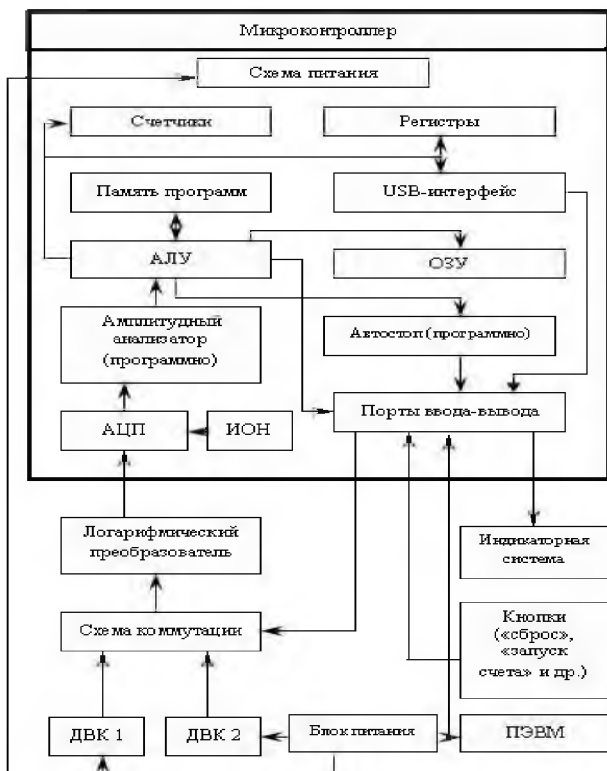


Рис. 1. Функциональная схема МПУ

После прохождения заданного объема жидкости (согласно ГОСТ - 100 мл.) схема автостопа, реализованная программно, останавливает подсчет частиц и МК производит обработку данных, находящихся в ОЗУ. После обработки посредством периферийных устройств, входящих в состав МК (таймеры, счетчики, регистры, арифметико-логическое устройство и др.), информация о размерах и количестве частиц выводится на ЖК-индикатор. Также при необходимости, путем выбора соответствующего пункта в меню, данные могут передаваться на персональный компьютер (ПК), посредством скоростного USB – интерфейса, входящего в состав данного МК, для последующего анализа.

Данное устройство позволит повысить качество контроля чистоты рабочей жидкости гидросистем, вследствие чего уменьшится количество авиационных катастроф и происшествий, связанных с несвоевременным выявлением отказа данных систем.

### Список использованных источников

1. Логвинов Л.М. Техническая диагностика жидкостных систем технологического оборудования по параметрам рабочей жидкости.– М.: ЦНТИ «Поиск», 1992. -91с.
2. Логвинов Л.М., Поминов Е.И., Кудрявцев И.А. и др. Концепция функциональной диагностики гидравлических систем технологического оборудования по параметрам частиц износа // Ремонт, восстановление, модернизация.- 2002. №3. С.8-13.
3. Логвинов Л.М., Ковалев М.А. Математическое моделирование технического состояния трибомеханических узлов // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2007. №2. С.25-28.
4. Логвинов Л.М., Ковалев М.А. Микропроцессорное устройство для системы аппроксимативного анализа параметров рабочей жидкости гидросистем // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2007. №4. С.43-46.

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ТОЧКИ ЧЕЛОВЕКА**

К. А. Резаев

Самарский терапевтический комплекс «Реацентр», г. Самара

В настоящее время накоплено большое количество экспериментальных данных, подтверждающих эффективность оценки состояния организма человека по данным измерения электрических параметров биологически активных точек (БАТ) и коррекции этого состояния путем электростимуляции БАТ.

Спектр режимов измерения и параметров воздействия, используемых в современной медицинской технике очень широк. Общим для различных электропунктурных приборов является использование, как правило, двухзондового метода, предполагающего использование индифферентного и активного электродов. Площадь активного электрода определяется участком кожного покрова, в проекции которого находится БАТ и составляет 1-5мм<sup>2</sup>. Малая площадь биологически активных точек, высокая плотность их расположения на отдельных участках тела (в частности на ушной раковине) предопределяет использование сухих электродов. Основной проблемой в этом случае является наличие большого сопротивления электрод-кожа. При этом существенное значение на результаты измерения и параметры воздействия оказывают: площадь активного электрода, сила давления электрода на кожу, параметры эпидермиса кожи (толщина, количество и состояние потовых желез, влажность, рН и др.), что затрудняет оценку состояния и воздействие на биологически-активные точки, расположенные в дерме.

Разработано устройство для определения параметров и электростимуляции БАТ (рис.1). Сопротивление эпидермиса, в зависимости от состояния кожи и локализации, составляет 1.5–10 МОм и нелинейно зависит от приложенного напряжения. В то же время, сопротивление дермы, включая БАТ, составляет 30-100 кОм.

$U_{xx}$  – управляемый источник напряжения,  $R_{упр}$  – управляемая проводимость,  $I/U$  – преобразователь ток-напряжение,  $R1$  – нелинейное сопротивление эпидермиса,  $R2$  – сопротивление дермы, включая БАТ. Микроконтроллер подключен через USB интерфейс к компьютеру (ПК).

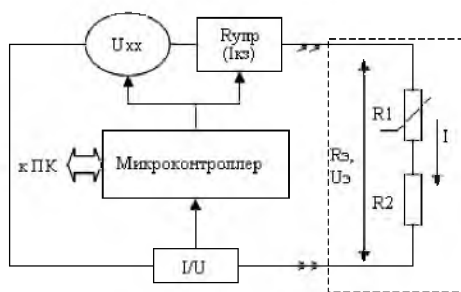


Рис.1. Схема экспериментальной установки

Диапазон изменения  $U_{xx}$ : 0-60В с шагом 0,1В; диапазон изменения тока ( $I_{кз}$ ): 0-200мкА с шагом 1 мкА; точность измерения тока  $I$  в цепи:  $\pm 2$  мкА.

Для устранения влияния высокого нелинейного сопротивления эпидермиса, перед оценкой электрических характеристик и воздействием на БАТ, проводится электрический пробой эпидермиса, который заключается в подаче на активный электрод высокого напряжения отрицательной полярности. Полученные экспериментальные данные показывают, что при этом сопротивление в цепи активный - пассивный электрод падает по экспоненциальному закону до значений 50-80 кОм и после завершения пробы практически не зависит от приложенного напряжения. При этом определено, что время пробы слабо зависит от значения  $I_{кз}$  в диапазоне 30-100мкА, нелинейно зависит от величины приложенного напряжения  $U_{xx}$  в диапазоне 8-60В. При напряжениях ниже 8В пробы эпидермиса не происходит. Полученные нами данные показывают, что пробой происходит тогда, когда заряд, проходящий через поры кожи, превышает некоторое пороговое значение.

Зависимость времени пробы от напряжения можно оценить по формуле:

$$\tau = 1/kU, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент, значение которого определяется свойствами эпидермиса и изменяется в диапазоне от  $4 \cdot 10^{-3}$  до  $4 \cdot 10^{-1}$  ( $V \cdot c$ )<sup>-1</sup>.

Если задать предельное время подготовки БАТ  $< 30$  сек., то для наименьшего значения  $k$ , напряжение в режиме подготовки, рассчитанное по (I) должно быть больше 30.3 В. С другой стороны, расчеты показывают, что с ростом напряжения от 40В до 60В, проводимость кожи увеличивается незначительно. Следовательно, целесообразно выбрать напряжение режима подготовки в диапазоне 30-40В.  $I_{kз}$  можно определить исходя из минимизации болевых ощущений, которые не возникают при токе, меньшем, порогового значения, определяемого по формуле:

$$I = 50 \text{ мкА/мм} \cdot S^{0.17}, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь активного электрода. Для электродов  $\varnothing$  2-4 мм, значения  $I_{kз}$  не должны превышать 61-77 мкА.

Таким образом, алгоритм подготовки БАТ реализуется следующим образом: перед оценкой состояния и последующим воздействием, на активный электрод подается напряжение -40В при токе короткого замыкания 60 мкА на время не более 30 сек. При этом контролируется сопротивление  $R_э = U_{хх} \cdot (I_{kз} - I) / I_{kз} \cdot I$  (рис. 1). В случае, если значение  $R_э$  становится меньше 100 кОм, подготовку прекращают и определяют проводимость при  $U_{хх} = 9В$  и  $I_{kз} = 80$  мкА. Если значение  $R_э < 80$  кОм, то подготовка БАТ завершается и далее проводится оценка ее состояния и электростимуляция.

На основании экспериментальных данных и проведенных расчетов предложен алгоритм, позволяющий повысить точность оценки состояния и эффективности воздействия на БАТ за счет устранения зависимости электрических параметров кожного покрова в проекции БАТ от площади активного электрода, силы давления электрода на кожу, физиологического состояния эпидермиса кожи.

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В КАЧЕСТВЕ ДАТЧИКА КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА**

А.С Рогова, М.Н Филимонова

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Существуют большое количество конструкций датчиков крутящего момента, как контактного так и бесконтактного типа. Среди бесконтактных датчиков наиболее часто встречается датчики трансформаторного типа. Конструкция бесконтактного датчика позволяет избавиться от основных проблем трения и эксплуатации и облегчает обслуживание. Таким образом,

они могут соответственно быть включены в оборудование как инструмент контроля.

Известные датчики обладают достаточно высокой точностью и предназначены для использования в различных динамометрических устройствах. Существенным недостатком является низкая линейность статической характеристики. Нами предлагается использовать для улучшения данной характеристики использовать трансформаторный преобразователь малых линейных перемещений. Описываемый преобразователь отличается тем, что в нем цилиндры магнитопровода расположены коаксиально друг относительно друга, причем внешний и средний цилиндры замкнуты в средней части ферромагнитным кольцом, внешний и внутренний цилиндры замкнуты по торцам ферромагнитными крышками, именно это позволяет повысить точность и линейность статической характеристики.

В работе предлагается в качестве преобразовательного измеряющего устройства применять трансформаторный преобразователь, представленный на рисунке 1.

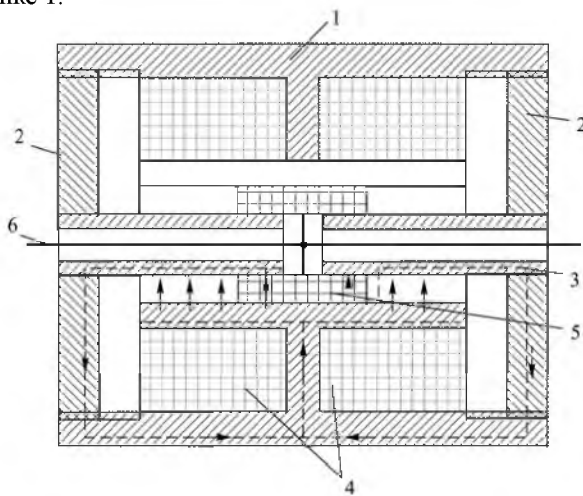


Рис. 1

Магнитопровод преобразователя имеет цилиндрическую форму и состоит из корпуса 1, имеющего в сечении Т-образную форму, и двух крышек 2 с цилиндрическими полыми стержнями 3. Обмотка возбуждения 4 состоит из двух секций, соединенных последовательно и встречно. Измерительная катушка 5 охватывает стержни 3 и может перемещаться вдоль магнитопровода с помощью немагнитного штока 6, расположенного внутри полых стержней. При подаче в обмотку возбуждения 4 переменного напряжения, в связи с постоянством длины трубок магнитного потока по стали в

рабочем диапазоне перемещения подвижной части, в рабочем зазоре преобразователя образуется равномерная по длине магнитопровода индукция.

Вследствие этого выходная ЭДС изменяется линейно в функции перемещения подвижной части, с фаза постоянна в диапазоне перемещения подвижной части. При переходе через «нуль» фаза выходной ЭДС изменяется на обратную.

Для исключения влияния на амплитудно-фазовые характеристики преобразователя короткозамкнутых контуров корпуса последний разрезается в средней части по образующей.

«Нуль» преобразователя регулируется поворотом крышек, что изменяет комплексное сопротивление левой и правой относительно поперечной оси симметрии частей магнитопровода. Цилиндрический корпус преобразователя является экраном для магнитных полей, действующих в поперечном направлении.

#### Список использованных источников

1. Рогова А.С., Воронцов А.В Анализ параметров упругого чувствительного элемента // Надежность и качество. - 2006: Труды межд. симп. – Пенза, 2006. Том 1. С. 220.
2. Конюхов Н.Е. Электромеханические функциональные преобразователи.-М.: Машиностроение, 1977. -240 с.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНКИ ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА, ПОЛУЧЕННОЙ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКОГО И ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КАРДИОСИГНАЛА

Л.И. Калакутский, В. В. Графкин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Анализ хронотропной структуры сердечного ритма, выявляет его вариабельность – «разброс» мгновенных значений длительностей кардиоциклов (ДКЦ) относительно среднего значения. Изменение вариабельности отражает процессы активации отделов ВНС по отношению к сердечно-сосудистой системе и позволяет судить о выраженности адаптационной реакции организма на то или иное воздействие. Эти факторы определяют высокую диагностическую ценность оценки вариабельности сердечного ритма (ВСР) в различных областях медицины.

Получение показателей ВСР производится путем регистрации физиологического процесса, отражающего сердечный ритм (биоэлектриче-



ской активности сердца, пульса периферических артерий с помощью оптических, реографических, плетизмографических и др. датчиков). Затем производится измерение значений интервалов времени между сокращениями сердца – ДКЦ (например, R-R интервалов ЭКГ или междупульсовых интервалов) и обработка динамического ряда ДКЦ с целью вычисления диагностических показателей. Наибольшее распространение в клинической практике получили методы вычисления диагностических показателей, основанные на временном (статистическом) и частотном (спектральном) анализе variability сердечного ритма, причем первые методы позволяют получить лучшие диагностические оценки в реальном масштабе времени.

Наиболее удобными для мониторингового контроля состояния организма с помощью показателей ВСР являются фотоплетизмографические измерительные преобразователи кардиосигнала регистрирующие периферический пульс.

Проведен сравнительный анализ статистических оценок ВСР полученных с помощью электрокардиографического и фотоплетизмографического измерительных преобразователей в режиме одновременной регистрации ДКЦ у обследуемых. Для регистрации использовались синхронизированные записи данных, полученные с помощью приборов «ЭЛОН-001» и «ЭЛОКС-01» («Новые приборы», г. Самара).

Полученные результаты показывают, что относительное отклонение статистических оценок и производных диагностических показателей ВСР ( $NN_{avg}$ , SDNN, HRV, CVr) зависит от степени стационарности сердечного ритма, объема скользящей выборки данных, причем с увеличением выборки отклонение уменьшается. Для объема выборки данных 100 ДКЦ отклонение SDNN не превышает 5%, что позволяет использовать этот показатель в аппаратуре мониторингового контроля.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ СОСТАВА $SiO_2SnO_xAgO_y$**

Т. Н. Назарова  
Технический институт ЮжФУ, г. Таганрог

В данной работе разработана технология получения тонкопленочных материалов из растворов гидролизующихся соединений. Подбран состав и соотношение компонентов в пленкообразующем растворе. Исходными компонентами для приготовления пленкообразующих растворов служили тетраэтоксисилан, изобутиловый спирт, вода, соединения

олова и серебра в различных концентрациях. Контроль созревания растворов, проведенный путем измерения электропроводности раствора в течение нескольких часов после его приготовления, показал, что растворы способны образовывать пленку через 6 часов после приготовления и остаются стабильными в течение длительного периода (до 1 года). Приготовленные пленкообразующие растворы наносились на кремниевые подложки методом центрифугирования.

Определены режимы температурной обработки пленочных материалов:

1) сушка при температуре 120°C (1ч 30мин),

2) окончательный отжиг при температурах 350-600°C (8 ч). В результате разработана технологическая схема получения тонкопленочных материалов из растворов на основе тетраэтоксисилана с добавлением соединений серебра и олова (рис.1) и получены образцы тонкопленочных материалов с соотношением Sn/Ag=0,5; 2; 2,5; 10 в исходных растворах.

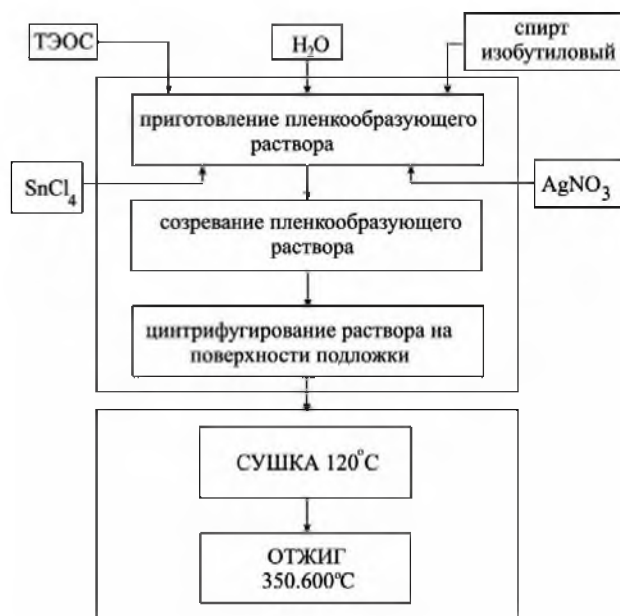


Рис.1. Технологическая схема получения тонкопленочных материалов состава  $\text{SiO}_2\text{Sn}_x\text{Ag}_y$

## МАТРИЧНОЕ ОПИСАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Мещанов, О.С.Костюнина

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В настоящее время существует много способов описания перемещений подвижных объектов, но зачастую их решения является неудобными, содержат в себе большое количество сложных математических операций или не являются рациональными при решении поставленной задачи.

Цель данной работы – промоделировать сложные многокомпонентные перемещения подвижных объектов, составить их матричное описание и проанализировать полученные результаты.

Для описания перемещений и поворотов используем однородные матрицы размерностью  $4 \times 4$ , которая преобразует вектор, выраженный в однородных координатах, из одной системы отсчета в другую.

$$T = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & p_{3 \times 1} \\ f_{1 \times 3} & 1 \times 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Поворот} & \text{Сдвиг} \\ \text{Преобразование} & \text{Масштабирование} \\ \text{Перспективы} & \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Верхняя левая подматрица размерностью  $3 \times 3$  представляет собой матрицу поворота; верхняя правая подматрица размерностью  $3 \times 1$  представляет собой вектор положения начала координат повернутой системы отсчета относительно абсолютной; нижняя левая подматрица размерностью  $1 \times 3$  задает преобразование перспективы; четвертый диагональный элемент является глобальным масштабирующим множителем [1]:

$$T_{x,y,z} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x1 \\ 0 & 1 & 0 & y1 \\ 0 & 0 & 1 & z1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2), \quad R_{y,\beta} = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

В качестве примера рассмотрим последовательные линейные и угловые относительно трех координатных осей X, Y, Z и проанализируем полученные результаты.

В данном случае рассматривается частный случай сложных перемещения подвижного объекта: используются одинаковые линейные и угловые перемещения.

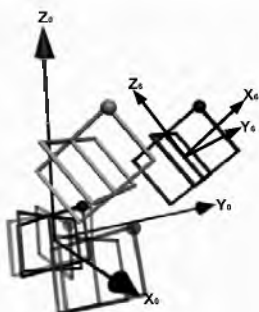


Рис.1. Декомпозиция пространственно-го перемещения фигуры для задачи №1

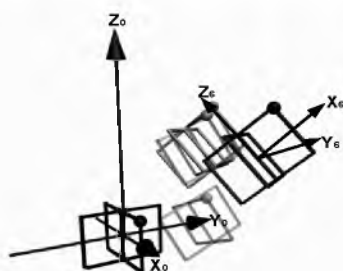


Рис.2. Декомпозиция пространственно-го перемещения фигуры для задачи №2

Согласно правилам перемножения выражение последовательности перемещений для первой и второй задач будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 M_2 = & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \\
 & \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \\
 & \times \begin{bmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
 = & \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\sin \gamma & \cos \gamma \sin \beta & x1 \\ \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \gamma \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta & y1 \\ \sin \alpha \sin \gamma \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta & z1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha \cos \beta & -\sin \gamma & \cos \gamma \sin \beta & x1 \\ \cos \alpha \cos \beta \sin \gamma + \sin \alpha \sin \beta & \cos \alpha \cos \gamma & \cos \alpha \sin \gamma \sin \beta - \sin \alpha \cos \beta & y1 \\ \sin \alpha \sin \gamma \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta & \sin \alpha \cos \gamma & \sin \alpha \sin \gamma \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta & z1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Моделирование этих перемещений иллюстрирует многовариантность решения прямой и обратной кинематической задачи манипулятора, а также позволяет выявить и сократить количество возможных альтернативных вариантов выхода в конечное положение.

Таким образом, анализ декомпозиций перемещений фигуры показал, что конечные положения являются одинаковыми, причем последовательности изменений положений различны относительно как базовой, так и подвижной систем координат. При исследовании данного факта была определена следующая закономерность, при которой различные последовательности перемещений фигуры приводит к одному и тому же положению:

а) при чередовании пары двух одинаковых подвижных осей (X и Z) конечные положения движущегося объекта будут одинаковыми;

б) прерывание чередующихся пар третьей координатой (подвижная ось Y) при линейном перемещении не является определяющей для объекта в конечном положении.

#### Список использованных источников

1. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 624с.

### РАЗРАБОТКА КОРПУСА ДЛЯ УЧЕБНОГО СТЕНДА ПО ИЗУЧЕНИЮ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

А.С. Нечаев, И.В. Макаров, Д.Б. Жмуров

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В настоящее время области применения микроконтроллеров (МК) многогранны. МК можно запрограммировать на выполнения определенного ряда задач, тем самым, определив его область деятельности. Однако, изучение современных МК и аналогово-цифровых сигнальных процессов, представляет для студентов и начинающих разработчиков значительные трудности, потому что начинающему пользователю разобраться в том, как работают АЦП, индикатор, матричная клавиатура другие компоненты, соединенные с контроллером и между собой, представляется весьма затруднительно. Для обеспечения учебного процесса большинством специализиро-

ванных курсов в области микропроцессорной техники необходимо создание начальной базы, а именно, разработки стенда, ориентированного на проведение широкого спектра лабораторно-практических занятий для изучения основ практического использования 8-разрядных МК.

Уже имеется множество разновидностей учебных лабораторных комплексов, таких как LabKit08, SDK-1.1, SDK-3.1 и другие, но все они предназначены либо для программирования МК, либо уже для запрограммированных микросхем с выполнениями конкретных задач и не предназначенных для изучения работы МК с точки зрения схемотехники и программирования в структуре. Поэтому в первую очередь для стенда был разработан корпус, позволяющий программировать МК, а также изучать принцип его работы в комплексе с дополнительными элементами. Корпус должен иметь такую конструкцию, которая в нормальных условиях эксплуатации обеспечивала бы необходимую электрическую и механическую защиту частей аппарата и безопасность потребителя и окружающей обстановки. И конечно же нельзя забывать об удобстве эксплуатации прибора. Поэтому к корпусу предъявляются следующие требования.

Корпус должен:

- а) иметь ГОСТИруемые детали, спайки, крепления, маркировку;
- б) быть прост в изготовлении на техническом производстве;
- в) максимально удовлетворять потребности как программиста, так и потребителя (т.е. эргономичен);
- г) быть наиболее оптимальным по размерам и весовым категориям.

Нами предложена следующая модель корпуса:

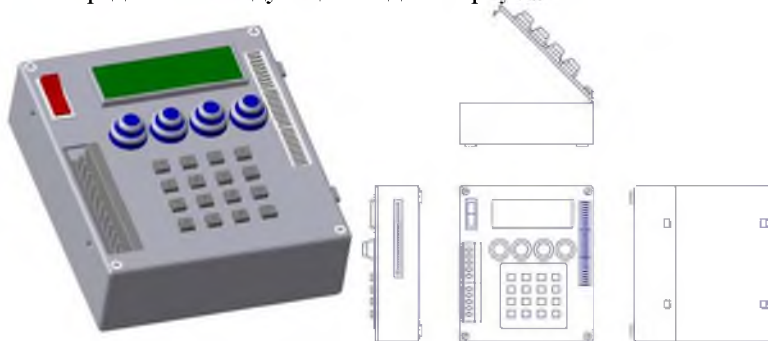


Рис.1. Внешний вид прибора

В ней имеется:

На передней панели:

- выключатель питания со встроенным светодиодом;

- ЖК-индикатор (предусмотрена возможность для физического отключения от портов МК);
- матричная клавиатура (предусмотрена возможность для физического отключения от портов МК);
- гнездо для подключения аналоговых приборов (т.к. создаваемый стенд ориентирован на работу с сигналами, поступающими от измерительных приборов – в большинстве своем аналоговых, поэтому быстрый доступ играет не малую роль);
- дополнительные клавиши (по усмотрению пользователя);
- блок индикаторных светодиодов (для контроля состояний цифровых портов).

На боковой - верхней панели:

- гнездо питания МК;
- гнездо подключения к компьютеру для программирования МК (очень редкое использование).

На боковой - правой панели:

- гнездо для подключения цифровых приборов (для уменьшения длины соединительных проводов в целях уменьшения искажений сигналов).

У прибора есть четыре резиновых ножки, расположенных снизу, для наименьшего скольжения по поверхности, на которой он будет установлен.

Мы разработали два варианта крепления передней панели для того, чтобы пользователь не ограничивал себя условиями, заданными разработчиками, а сам при необходимости смог бы без усилий открыть переднюю панель и, отключив одни из компонентов, подключить нужные ему. Так же это позволяет изучить устройство данного прибора вплоть до мельчайших деталей.

#### Список использованных источников

1. <http://www.inton.com.ua/>
2. <http://www.garant.samgtu.ru/>
3. <http://www.compitech.ru/>
4. Фрунзе А.В. Микроконтроллеры? Это же просто! Т.1. – М.: ООО «ИД СКИМЕН», 2002. – 336с., ил.
5. Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Материалы Всероссийской научно-технической конференции 11.05-13.05.2006г., г. Самара/Под редакцией И.Г. Мироненко, М.Н. Пиганова. – Самара: СГАУ, 2006.-206с.
6. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel. – М.: ИП РадиоСофт, 2002 – 176с.: ил.

## СПЕКТРАЛЬНО-ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ГОРЕНИЯ В ДВС

О.В. Филонин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Важнейшими характеристиками, определяющими эффективность горения рабочей смеси в камерах сгорания ДВС являются: характер заполнения камеры рабочей смесью, с учетом ее турбулизации и гомогенности в элементарных объемах, процесс воспламенения и пространственная «газодинамика» фронта горения, динамика процесса горения в объеме камеры, при изменении ее объема и термодинамических параметров. Детальный анализ этих характеристик позволяет оптимизировать процессы работы двигателя, увеличить его мощность, снизить расход топлива и т.д. К сожалению, существующий в настоящее время уровень технического развития не позволяет в полной мере получать все искомые и необходимые параметры процессов горения топлива, непосредственно в камерах сгорания. Определенный, положительный вклад в исследование процессов горения в замкнутых объемах, в том числе в камерах сгорания ДВС, РД и пр. внесла спектрально-томографическая диагностика процессов воспламенения и горения топлив [1]. Этот подход позволяет реконструировать пространственное распределение интенсивностей, температур, концентраций капельной (жидкой) фазы, сажистых – углеродных частиц в исследуемых объемах, используя собственное оптическое излучение исследуемого объекта или внешнее зондирующее излучение.

Для решения подобного рода задач автором разработана малоракурсная спектрально-томографическая система диагностики параметров горения в камерах сгорания ДВС. Ее оптическая и структурная схемы представлены на рис. 1. Основное назначение систем такого рода является трехмерная реконструкция интенсивностей излучения, функций распределения температур, концентраций частиц в оптическом диапазоне излучения. Достоверная трехмерная информация, например, о функции яркостной температуры дает возможность реконструировать пространственную картину возникновения и распространения фронта горения топлива в камере, определить его скорость распространения и т.д. 3D – информация о распределении частиц углерода говорит о полноте сгорания топлива, что в свою очередь дает возможность оптимизировать форму камеры сгорания и параметры заполнения ее рабочей смесью. Таким образом, разработка новых, высокоэффективных малоракурсных систем диагностики для исследования процессов горения в замкнутых объемах является весьма актуальной задачей.



В зависимости от конструкции ДВС, точнее головки блока цилиндров, предложено несколько способов регистрации исходных двумерных проекционных данных в оптическом диапазоне собственного излучения воспламененной смеси. Наиболее простой с точки зрения технической реализации является геометрия двухракурсной геометрии регистрации исходных данных. Эскиз геометрического расположения входных оптических каналов в головке блока цилиндров для двухклапанного двигателя показан на рис. 1 а). В таких случаях оптические трубки - объективы входных каналов располагаются симметрично по бокам свечи зажигания, таким образом, чтобы их главные оптические оси пересекались в геометрическом центре окружности соответствующей размеру поршня.

Эскиз объектива представлен на рис. 1,б. Для диагностики процессов воспламенения и горения двухфазных смесей в ДВС, по результатам экспериментальных исследований выбран трехлинзовая схема регистрации теневых проекционных изображений [2]. Входная линза выполнена из кварцевого стекла, две другие их оптического стекла. Линзы размещаются в герметичном корпусе, выполненном для удобства монтажа из трех элементов. Назначение третьей линзы заключается в проецировании теневого проекционного изображения на входной торец оптико-волоконного светопровода для передачи изображений. Для стандартного (1,5÷2) литрового двигателя диаметры линз составляют 14 мм, фокусные расстояния линзовых систем объектива (21, 18)мм.

Более сложной, с точки зрения технической реализации, но более эффективной в плане информационной отдачи и достоверности получаемой реконструкции является трехракурсная система регистрации. На рис. 1,в представлена так называемая планарная геометрия регистрации проекционных данных, при которой оптические оси объективов фактически лежат в одной плоскости. Здесь же показаны их реальные «зоны обзора» для каждого объектива, как видно из рисунка, результирующая зона регистрации не в полной мере охватывает исследуемый объем, что требует процедур доопределения данных в процессе ВТ-реконструкции. В зависимости от конструкции головки блока цилиндров, рассмотренная геометрия, не всегда может быть реализована, например, в головках, имеющих 4-клапана на цилиндр. В таких случаях расположение считывающих объективов может быть сведено к геометрии их пространственного расположения показанной на рис. 1,г.

Формирование исходных проекционных данных для задач рассматриваемого типа может осуществляться двумя путями. Для анализа процессов воспламенения и распространения фронта горения в объеме камеры, достаточно зарегистрировать распределение интенсивности собственного излучения в плоскостях проекций, с последующей 3D-реконструкцией конфигурации фронта. Схема такой регистрации представлена на рис. 1,д. От-

личительной особенностью предложенной оптико-электронной схемы регистрации является наличие оптических затворов и микроканальных усилителей яркости, располагаемых непосредственно перед матричным фотоприемником. Это дает возможность синхронно зарегистрировать двумерные проекционные данные за временной интервал порядка  $1 \cdot 10^{-6}$  с, что увеличивает достоверность пространственной реконструкции конфигурации фронта горения. Для анализа динамики процесса его распространения делается несколько последовательных «мгновенных» фиксаций проекционных данных. Их количество и интервалы дискретизации определяются быстродействием матричной фотодетекторной структуры, системы опроса, АЦП, системы буферизации данных и пр. Управление сбором исходных проекционных данных осуществляется с помощью микропроцессорной системы управления, которая в конечном итоге и каждого проекционного изображения формирует пакеты одномерных проекций. Эти одномерные проекции в каждой двумерной выбираются в радиальных направлениях, под одинаковыми полярными углами. Количество формируемых одномерных проекционных данных обычно выбирается в пределах  $(16 \div 24)$ , таким образом, исходное число одномерных проекционных данных составляет  $2 \times (16 \div 24)$ ,  $3 \times (16 \div 24)$ .

Основные математические положения разработанного метода ультра-малоракурсной реконструкции параметров горения двухфазных смесей можно свести к следующему. 3D-реконструкция конфигурации поверхности фронта горения производится путем вычисления трехмерного спектра Фурье следующим образом.

После предварительной дискретизации, фильтрации исходных одномерных проекционных данных, число которых выбирается в пределах  $2 \times (16 \div 24)$ ,  $3 \times (16 \div 24)$ , производится вычисление одномерных спектров Фурье для каждой одномерной проекции. Таким образом, формируется  $2 \times (16 \div 24)$ ,  $3 \times (16 \div 24)$  одномерных Фурье - образов, которые далее в соответствии с теоремой о центральном сечении распределяются в трехмерном пространстве Фурье в дискретной сферической системе координат. Важным моментом здесь является количество отсчетов в каждой одномерной проекции – степень дискретизации. В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено, что наиболее оптимальным количеством отсчетов в каждой проекции является 128, для 1,5-, 2х-литровых двигателей, при этом предполагается, что представление искомой функции распределения, для увеличения наглядности, производится в виде 3D-поверхности. Следовательно, формат дискретного «Фурье-шара» имеет диаметр соответствующий 128 отсчетам, таким образом, и исходный размер реконструируемого двумерного изображения составляет  $(128 \times 128)$  элемен-

тов, при этом восстанавливаемый объем определяется дискретным кубом формата (128×128×128) элементов.

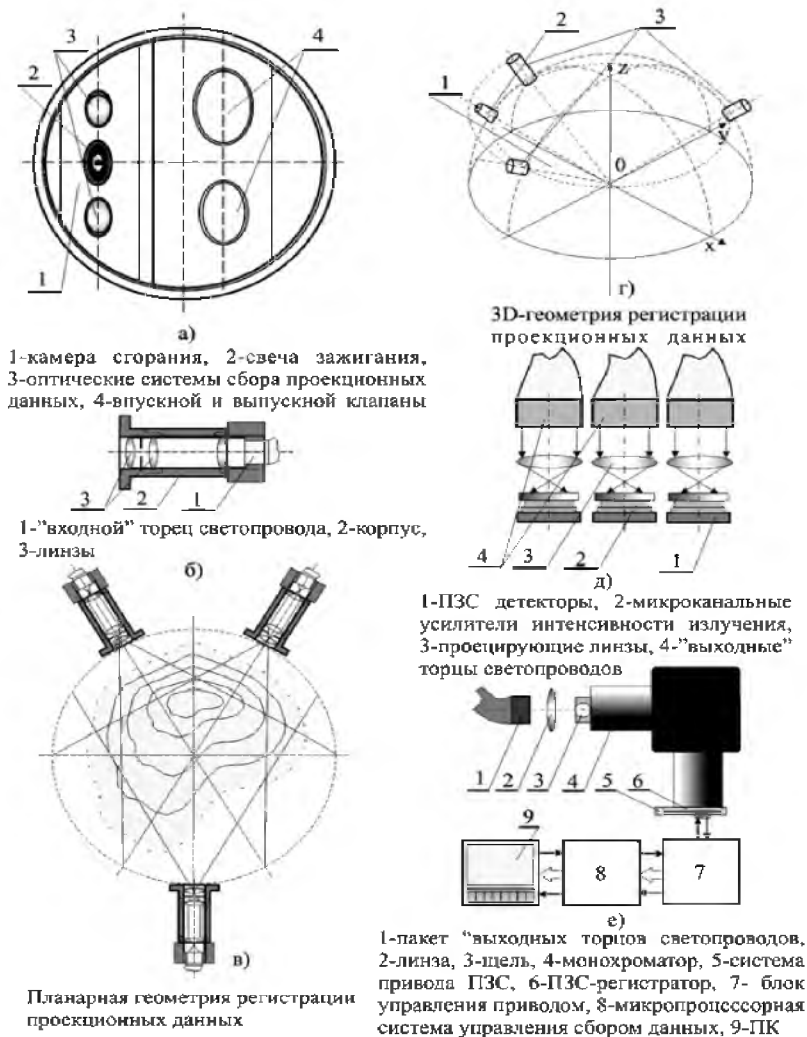


Рис.1. Иллюстрация схем формирования исходных данных и структурная схема их обработки при ультразвуковой ВТ-диагностике ДВС

Набор дискретных диаметров, являющихся Фурье - образами одномерных проекций полностью не определяют 3D-Фурье – образ искомой функции. Следовательно, возникает задача доопределения необходимых, недостающих Фурье – отсчетов. Эта задача решается с использованием методов интерполяции по кольцевым гармоникам, априорных данных и эвристического подхода используемого для 2D-реконструкции, суть которого будет изложена ниже.

После доопределения необходимого числа отсчетов в 3D - пространстве Фурье, там же выбираются пересекающиеся плоскости, под равными углами  $\Delta\theta_i; \Delta\varphi_i$  представляющие собой дискретные круги Фурье – отсчетов. Понятно, что в дискретном варианте указанная выборка представляет собой, строго говоря, не плоскость, а «радиально – плиссированную» поверхность. Для каждой такой поверхности определяются секущие плоскости, на которых вычисляются дискретные Фурье - отсчеты. Каждая такая плоскость, представляющая собой круг, является двумерным Фурье – образом двумерного сечения исследуемого объекта, определяемого в пространстве координат  $(X, Y, Z)$  углами  $\Delta\theta_i; \Delta\varphi_i$ . Таким образом, проведя ряд процедур обратного преобразования Фурье для всех выше указанных, определяемых плоскостей получаем набор 2D-сечений. Далее, с целью увеличения наглядности отображения искомых функций распределения, снижения временных затрат на вычислительные процедуры в каждой 2D – проекции производится выделение изопараметрических контуров, число которых определяется задачей эксперимента. Например, для исследования процессов воспламенения и анализа динамики распространения фронта горения, достаточно выделить по одному контуру. На заключительных этапах производится формирование трехмерного массива соответствующего изопараметрической поверхности и отображение информации в проекционном или объемном виде с помощью алгоритмов проекционного отображения.

Разработанные схемы регистрации исходных проекционных данных, как уже было отмечено, относятся к области ультрамалоракурсной ВТ - диагностики, которая использует эвристические подходы. Для данного класса задач предложен следующий вариант эвристического анализа исходных данных. Искомая функция распределения, например, интенсивности излучения, при анализе динамики распространения фронта горения смеси. В общем случае [3] она может быть записана в виде:

$$I(r, \theta) = \sum_{m=0}^M I_m^0(r) \cos(m\theta_i) + I_m^0(r) \sin(m\theta_i) . \quad (1)$$

Такое представление (1) дает возможность восстанавливать по  $K$  проекциям  $2K$  членов ряда, если проекция определена как хордовый сигнал от искомой функции  $I(r, \theta)$  и удовлетворяет условию Радона. Процессы

воспламенения рабочей смеси в камере сгорания характеризуются сильно неаксиальным распределением интенсивности излучения фронта горения и самой смеси по объему камеры. В силу достаточно высокой турбулентности впрыскиваемой смеси процессы горения характеризуются наличием нескольких периферийных максимумов. Такие распределения не могут быть восстановлены томографическими методами на основе разложения Кормака при малом числе проекций. Для разрешения данной коллизии предложены следующие этапы:

- Так как с развитием процесса горения, происходит воспламенение практически всего объема рабочей смеси, то необходимо предусмотреть процедуру выделения сигнала от фронта горения, который будем считать «возмущением», от «фона», определяемого горением смеси.
- Вычисление координат центров «периферийных возмущений».
- Раздельная УМВТ – реконструкция по проекциям «фона» и «возмущения».
- Синтез результатов реконструкции в одно изображение.

Отдельные этапы реконструкции можно свести к следующему. Для разделения вкладов «фона» и «возмущения» можно например, представить искомую функцию в виде:

$$I(r, \theta) = P_M(r, \theta) + Q_N(|\vec{r} - \vec{r}^i|, \theta), \quad (2)$$

где  $P_M(r, \theta), Q_N(r, \theta)$  полиномы вида:

$$P(r, \theta) = \sum_{m=0}^M P_m^c(r) \cos(m\theta) + P_m^s(r) \sin(m\theta). \quad (3)$$

Здесь  $M, N$  - небольшие целые числа,  $P_m^i(r), Q_m^i(r)$  - гладкие функции определенные на круге единичного радиуса. Исходя из анализа экспериментальных данных, можно считать, что «возмущение», описываемое функцией  $Q_N(|\vec{r} - \vec{r}^i|, \theta)$  достаточно локализовано, так что радиус ее носителя  $r \ll 1$ . Так как две проекции (рис.1 а) дают возможность восстановить четыре коэффициента  $P_m^i(r)$  при отсутствии периферийных «возмущений», то возможность реконструкции «модельной функции» вида:

$$I(r, \theta) = P_0(r) + P_1^s(r) \sin(\theta) + P_2^c(r) \cos(\theta) + Q_0(|\vec{r} - \vec{r}^i|). \quad (4)$$

В таком случае функции проекции можно определить в виде:

$$\begin{cases} F_1(p) = f_0(p) + f_1^c(p) \cos(\varphi_1) + f_1^s(p) \sin(\varphi_1) + q(p - p_1), \\ F_2(p) = f_0(p) + f_2^c(p) \cos(\varphi_2) + f_2^s(p) \sin(\varphi_2) + q(p - p_2). \end{cases} \quad (5)$$

В приближении ортогонального проецирования для направлений  $\varphi_1 + \pi, \varphi_2 + \pi$ , можно записать еще одну систему уравнений в виде:

$$\begin{cases} F_1(-p) = f_0(p) - f_1^c(p) \cos(\varphi_1) - f_1^s(p) \sin(\varphi_1) + q(p - p_1), \\ F_2(-p) = f_0(p) - f_2^c(p) \cos(\varphi_2) - f_2^s(p) \sin(\varphi_2) + q(p - p_2). \end{cases} \quad (6)$$

Заметим, что  $F_1(p), F_2(p)$  - экспериментально измеряемые функции проекций, регистрируемые под углами  $\varphi_1, \varphi_2$  соответственно, а  $p_1, p_2$  - координаты проекций «центров масс» возмущений на оси ортогональной направлениям проецирования. Для большинства практических случаев значения  $p_1, p_2$  определяются из экспериментальных данных, получаемых при регистрации проекций в заданных направлениях.

Совместное решение систем уравнений (5) и (6) дает достаточно конструктивный ответ на вопрос о синтезе алгоритма отделения «возмущения» и «фона». Экспериментальный анализ проекционных данных показал, что при двухракурсной геометрии регистрации данных, функции проекций, обычно содержат по два одного до трех максимумов. Например, если обе проекции содержат по два максимума, то можно предложить следующий алгоритм реконструкции:

- Производится поточечное вычитание проекций, которые предварительно ориентируются таким образом, чтобы максимумы оказались в противоположных (различных) их половинах, то есть:  $F_R(p) = F_1(p) - F_2(p)$ .
- Вклад «фона» можно подавить, если его функция близка к аксиальной симметрии, а «возмущение» достаточно сильно локализовано, то есть:

$$F_R^+(p) = \begin{cases} F_R(p), & p \geq 0 \\ 0, & p < 0 \end{cases}, \quad F_R^-(p) = \begin{cases} F_R(p), & p \leq 0 \\ 0, & p > 0 \end{cases}. \quad (7)$$

- Полагая для определенности  $p_1 > 0$ , нетрудно заметить, что линейные комбинации:

$$F_1^p(p) = F_1(p) - F_R^+(p); F_2^p(p) = F_2(p) + F_R^-(p), \quad (8)$$

позволяют оценить вклад «фона» в каждой из проекций, а функции:

$$F_1^d(p) = F_R^+(p); F_2^d(p) = -F_R^-(p), \quad (9)$$

соответственно вклад «возмущения».

Для других случаев можно использовать модифицированные алгоритмы, предложенные авторами [4].

Рассмотренный подход, значительно упрощает дальнейшие процедуры МВТ – реконструкции: вычисление недостающих (промежуточных) проекций, операции свертки и обратного проецирования. Для реконструкции функций распределения, например, локальных температур в объеме

камеры сгорания необходимо использовать спектрально - томографический подход, то есть анализировать спектры проекций. На рис. 1,е представлена структурная схема спектрально – томографической системы для исследования пространственного распределения температур в камере сгорания. В силу конструктивных особенностей функции распределения локальных температур определяются в двумерной плоскости заданной ориентации. Предложенная спектрально - томографическая система диагностики работает следующим образом. Выходные торцы светопроводов -1 собираются в «последовательный» пакет, при этом предусмотрена возможность из синхронного поворота, с помощью механизма выборки ориентации плоскости сечения (на рис. 1,е) не показан. Одномерные функции проекции, соответствующие выбранному сечению, с помощью однолинзовой системы - 2 проецируются на входную щель - 3 монохроматора – 4. В его фокальной плоскости, таким образом, формируется  $(2 \div 3)$  спектра проекций, расположенных один под другим. Для расчета температур необходимо выбрать либо конечный интервал сплошного спектра, либо линии излучения, например, частиц несгоревшего углерода. В последнем случае, можно восстановить «локальные температуры» этих частиц, и таким образом, иметь косвенную информацию о локальных температурах пламени в этих же локальных объемах, при условии термодинамического равновесия между твердотельной и газовой компонентами. Считывание интенсивности излучения областей сплошного спектра, спектральных линий производится с помощью линейной ПЗС – матрицы – 6, которая перемещается в плоскости спектра с помощью электромеханической системы привода – 5. Так как яркость спектра излучения пламени мала, то для эффективной регистрации спектров проекций перед ПЗС – матрицей установлен линейный микроканальный усилитель интенсивности излучения, что позволило производить считывание трех проекций – опрос линейки за интервал времени  $1 \times 10^{-3}$  с. Управление процессами считывания в ПЗС – матрице, электромеханическими системами выборки сечений, перемещения ПЗС - матрицы в плоскости спектра, производится с помощью микропроцессорной системы управления – 8. Она позволяет хранить в своем ОЗУ исходные массивы данных и обеспечивает связь с ПК.

В заключении следует отметить, что предложенная система томографической диагностики ДВС может быть установлена практически на любой двигатель, смонтированный на стенде. Время непрерывной работы комплекта объективов до их очистки от нагара может достигать 5 мин, очистка входных линз производится через свечное отверстие, без демонтажа головки блока цилиндров. Стендовые испытания системы, показали ее высокую надежность, простоту в обслуживании, получаемые данные отличаются высокой достоверностью и наглядностью.

### Список использованных источников

1. Филонин О.В. Малоракурсная томография. - Самара: СНЦ РАН, 2006. - 256с.
2. Филонин О.В., Ерусалимский Л.И., Лагутская Л.И. Определение оптических характеристик потоков низкотемпературной плазмы методами вычислительной томографии./ Тез. докл. VI Всесоюзной конф. по физике низкотемпературной плазмы. - Ленинград, 1983. - С.294 -296.
3. Филонин О.В., Овсищев М.В. Томографическая диагностика переноса примесей в ТОКАМАКЕ / Сб. научн. тр. «Вычислительная томография».-Куйбышев: КуАИ 1990. - С. 27.
4. Филонин О.В., Ерусалимский Л.И., Овсищев М.В. Интерполяционный подход к задачам малоракурсной томографии /
5. Реконструктивная томография. – Куйбышев: КуАИ 1987. - С.18.

## ОСОБЕННОСТИ ПОДГОНКИ ТОЛСТОПЛОНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ СВЧ МИКРОПЛАТ

А.В.Столбиков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Толстопленочные микроплаты работающие в СВЧ диапазоне имеют следующие особенности:

- малое количество пленочных слоев, обычно не превышающее 3-4;
- повышенные требования к точности изготовления пленочного рисунка проводящего слоя;
- количество резистивных слоев обычно не превышает одного-двух;
- необходимость дополнительных циклов термообработки в случае наличия торцев соединяющих лицевую сторону с экраном и металлизированных отверстий;
- применение проводящих паст содержащих малое количество палладия или не содержащих его, что повышает риск миграций серебра в области контакта проводник- резистор.

Проблема миграций серебра в случае применения серебропалладиевой пасты ПП-16 с соотношением серебропалладий 16:1 или серебряной пасты ПП-17 решается подбором наилучшего режима высокотемпературной обработки пленочных слоев. Как показали опыты при последовательном снижении температуры на  $5\text{ C}^0$  для каждого последующего пленочного слоя вероятность отсутствия миграций серебра повышается не менее, чем до 99,9%.

Однако задание жесткой границы верхней температуры термообработки проводящих слоев, накладывает ограничения на технологический



процесс вжигания резистивного слоя. Это особенно актуально в связи с тем, что резистивная паста в СВЧ микроплатах наносится на керамику ВК-100, на которой ее характеристики отличаются от заявленных производителем на 7-12%, для керамики ВК-94, в сторону уменьшения сопротивления. Помимо этого с точки зрения СВЧ техники применение лазерной подгонки нежелательно из-за появления неоднородности рисунка вследствие прохождения лазерного луча.

Дополнительную сложность в решение задачи вносит тот факт, что поведение резистивного слоя в случае повторной термообработки меняется от партии к партии и может происходить, как в сторону уменьшения сопротивления квадрата, так и в сторону его увеличения.

Поскольку общее количество циклов высокотемпературной обработки микроплаты относительно невелико, что наиболее критично для слоя наносимого первым, с точки зрения инженера-технолога значительный интерес представляет подгонка резисторов методом повторной термообработки. Достоинством метода является возможность получения требуемых значений сопротивления без повреждения слоя лазерным лучом. Кроме того возможно изменение сопротивления, как в сторону его увеличения, так и уменьшения. Недостаток метода сложность попадания в поле допуска уже, чем  $\pm 10 - \pm 15\%$ , даже для паст серии ПРу-П.

Методика подгонки предполагает предварительное определение характеристик пасты новой партии при приемочном контроле, на основе поведения тестовых плат в количестве пяти штук, с 10 резисторами на каждой. После выявления направления изменения сопротивления определяются резисторы требующие подгонки и резисторы изменение сопротивления которых нежелательно. В случае возникновения риска превышения верхней границы поля допуска, на тело резистора наносится дополнительный слой резистивной пасты. Подобным образом производится подгонка резисторов чье сопротивление превысило допустимое по результатам первой термообработки слоя. Нанесение дополнительного слоя на установке сеткотрафаретной печати с минимальным зазором позволяет получить увеличение толщины резистора не более, чем на 2-3 мкм. Временная стабильность резисторов не хуже, чем в случае применения метода лазерной подгонки. Данная технология хорошо комбинируется с другими технологическими процессами подгонки резисторов и позволяет получать необходимый результат с минимальными повреждениями тела резистора или совсем без них. Результаты применения метода приведены на рис. 1.

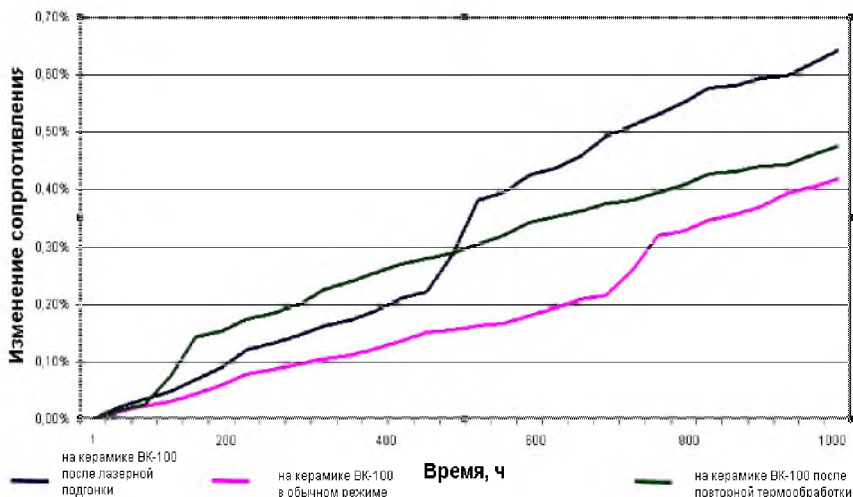


Рис. 1. Стабильность резисторов на пасте ПРУ-Вэ-50 после лазерной подгонки глубиной 5% от номинала

#### Список использованных источников

1. Пиганов М. Н. Технологические основы обеспечения качества микросборок. - Самара: СГАУ, 1999. - 231с.
2. Красов В.Г., Петраускас Г.Б., Чернозубов Ю.С. Толсто пленочная технология в СВЧ микроэлектронике. - Москва: Радио и связь, 1985. - 168с.
3. Толсто пленочная микроэлектроника/Гребенкина В.Г., Доброер В.С., Попов Л.И., Тризна Б.П. - Киев: Паукова думка. - 1983. - 249с.

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МАЛОРАКУРСНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕНТГЕНОВКОЙ ДИАГНОСТИКИ В СТОМАТОЛОГИИ

О.В. Филонин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Хорошо известно широкое применение рентгеновской диагностики в стоматологии. За последние годы благодаря развитию средств вычислительной техники, совершенствованию матричных детекторов рентгеновского диапазона, возможности этой диагностики значительно увеличились.

Кроме того, заметно возросла информационная отдача и достоверность получаемых данных, повысились чувствительность и разрешение формирования теневых изображений в дентальной зоне. В то же время в практической деятельности врача – стоматолога весьма часто возникают ситуации, когда необходимо определить трехмерную конфигурацию таких объектов как каналы, пломбы, область кариеса и т.д.

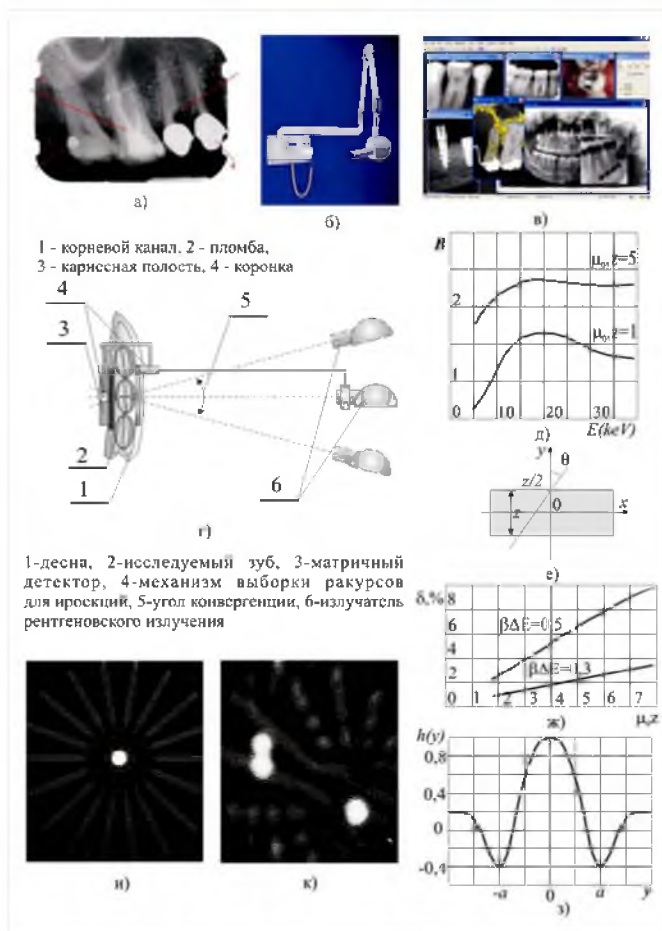


Рис. 1. Иллюстрации малоракурсной томографической диагностики для задач стоматологии

В этих случаях пациента посылают на обследование с помощью рентгеновского компьютерного томографа, что не всегда возможно и доступно, требует определенных временных и материальных затрат. Результатом такой диагностики, как правило, является набор 2D-томограмм, или псевдо трехмерное цветное изображение выбранной поверхности мягких тканей. К сожалению, такая информация далеко не всегда может устроить стоматолога. Автору, например, известен случай, когда потребовалось сделать 34 рентгеновских снимка одного из коренных зубов ( $7^B_{\text{л}}$ ) и пройти томографическое обследование, для того чтобы детально определить пространственную конфигурацию каналов для удаления нервов, пломбирования каналов и последующего протезирования. Совершенно очевидно, что создание новых методов и средств диагностики позволяющих получать трехмерную информацию о таких объектах (см. рис. 1, а) как корневые каналы, конфигурация и местоположение кариесных полостей, особенно при вторичном кариесе под пломбами, расположение и конфигурация пломб, посадка коронок и т.д., непосредственно на рабочем месте врача - стоматолога является весьма актуальной задачей.

Такого рода проблемы сегодня достаточно успешно могут быть решены с помощью малоракурсной компьютерной томографии [1]. Возможности такого подхода значительно расширились с появлением так называемых рентгеновских компьютерных визиографов, заменивших рентгеновскую пленку, что позволило значительно сократить время, затрачиваемое на диагностику. Автором разработана малоракурсная томографическая система рентгеновской диагностики, позволяющая решать рассмотренные задачи. Для получения проекционных данных, используется стандартное оборудование рентгеновского визиографа состоящего из узколучевого рентгеновского аппарата (рис. 1,б), матричного рентгеновского ПЗС – детектора, стандартного компьютера, обладающего с точки зрения обработки и представления довольно широкими возможностями (рис. 1 в)). Основные технические характеристики систем такого рода, важные с точки зрения реализации методов МВТ, можно свести к следующим: максимальная энергия рентгеновского излучения порядка  $E_{\text{max}} \sim 50 \text{keV}$ , угол раскрытия пучка излучения до уровня 0,2 максимального значения интенсивности не более  $3^{\circ}$ , максимальная доза, получаемая пациентом не превышает 0,001 МЗВ (единица измерения поглощенного излучения биологической тканью – Зиверт), время экспозиции матричного детектора (0,1 ÷ 0,125) с.

На рис. 1,г представлена схема регистрации проекционных данных с помощью штатной систем просвечивания и регистрации теневых изображений проекций доукомплектованная разработанным устройством выборки заданного набора двумерных проекций. В состав этого устройства, которое задает углы, под которыми регистрируются проекции, входит коллиматор,

служащий для снижения вклада рассеянного излучения. Влияние рассеянной компоненты увеличивается с увеличением угла от нормали.

Для задач такого рода, принято [2] проекцию определять в виде:

$$p(l, \theta) = \int_L \mu(x, y) dz = \iint_R \mu(x, y) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta) dx dy. \quad (1)$$

Здесь  $p(l, \theta)$  двумерная проекция от распределения линейного коэффициента ослабления излучения  $\mu(x, y)$  вдоль семейства проектирующих прямых  $L$ , определяемых условием:

$$l = x \cos \theta + y \sin \theta.$$

Для геометрии узкого пучка очевидно справедливо соотношение:

$$P_{x,i}(l, \theta) = P_{x,0} \left[ - \int_L \mu(x, y) dz \right],$$

где  $P_{x,0}$  - мощность экспозиционной дозы попадающий на исследуемый объект,  $P_{x,i}$  - мощность дозы регистрируемой матричным детектором. Из последнего соотношения, очевидно, несложно получить интегральное уравнение, удовлетворяющее обращению Радона, то есть:

$$\int_L \mu(x, y) dz = \ln \frac{P_{x,0}}{P_{x,i}(l; \theta)}.$$

Для повышения точности МВТ – реконструкции целесообразно ввести понятие разностной проекции следующим образом: любую проекцию при наличии исследуемых объектов – кариесных полостей, каналов и пр. можно определить в виде:

$$P_{i,d}(l, \theta) = \int_L \mu_d(x, y) dz = A / \gamma (J_0 - J_{i,d})(l, \theta), \quad (2)$$

здесь:  $\mu_d$  - линейный коэффициент поглощения рентгеновского излучения материалом исследуемого объекта,  $A$  - постоянная зависящая от типа и конструкции ПЗС – приемника,  $\gamma - const$ ,  $J_0$  - сигнал, который мог бы быть зарегистрирован ПЗС – структурой, соответствующий  $P_{x,0}$  за интервал времени опроса  $\Delta t$  матрицы  $J_i$  - реально измеряемый матрицей сигнал за тот же интервал времени. Заметим, что величина  $J_0$  является фиктивной, как с точки зрения «прямой» регистрации, так и в том смысле, что любая ПЗС, фотодиодная структура имеет порог насыщения, который значительно ниже возможных значений экспозиционной дозы излучения попадающей на исследуемый объект. Однако величину  $J_0$  можно оценить следующим образом: необходимо сделать пробный снимок так чтобы были известны величины  $z_u, \mu_u(x, y)$ , где  $z_u$  - толщина известного материала имеющего извест-

ный коэффициент ослабления  $\mu_u(x, y)$ . Тогда, очевидно можно записать систему уравнений:

$$\begin{cases} P_{x,u}(l, \theta) = \exp(-\mu_u z_u); \\ J_u(l, \theta) = A\gamma \ln P_{x,u} \Delta t^n + \eta. \end{cases} \quad (3)$$

В результате решения (3) с учетом (2) можно получить:

$$J_0 = A\gamma\mu_u z_u + J_u,$$

следовательно, для регистрируемой проекции нетрудно получить:

$$p_i(l, \theta) = \mu_u z_u + \frac{A}{\gamma}(J_u - J_0)(l, \theta). \quad (4)$$

Несложный анализ (4) позволяет сделать вывод о том, что первое слагаемое в правой части определяется только геометрией, коэффициентом преобразования дозы поглощенной детектором в сигнал (заряд). Другими словами величина  $\mu_u z_u$  можно трактовать как фон, на который накладывается информативная компонента

$$\frac{A}{\gamma}(J_u - J_0)(l, \theta).$$

Таким образом, определив проекцию при наличии локальных объектов в виде (2) можно найти разность между проекциями с наличием внутренних объектов и без них, то есть:

$$(P_{i,d} - P_i)(l, \theta) = \frac{A}{\gamma}(J_i - J_{i,d})(l, \theta). \quad (5)$$

Заметим, что «разностная проекция»

$$P_{\Delta,i} = \frac{A}{\gamma}(J_i - J_{i,d})(l, \theta),$$

содержит информацию только о внутренних локальных объектах, что упрощает процедуру обратного проецирования, и главное уменьшает уровень артефактов на этом этапе реконструкции. Определение бездефектной проекции можно провести в соответствии с методикой изложенной в работе [3].

Существенное влияние на качество томограммы оказывает рассеянное излучение, особенно в случае полихроматичности источника, к которым относятся рентгеновские трубки, используемые, например, в стоматологической визиографии. Учет влияния вклада рассеянного излучения принято производить с помощью фактора накопления:  $B = (P_{x,nd} + P_{x,d}) / P_{x,nd}$ , где  $P_{x,nd}$  и  $P_{x,d}$  мощности доз нерассеянной и рассеянной компонент соответственно. Здесь важно отметить, что разность сигналов, регистрируемых

ПЗС – детектором согласно соотношению (5) при наличии рассеянной компоненты и в случае однофотонного приближения не изменяется. В то же время надо помнить, о том, что полезная информация содержится в нерассеянном потоке излучения. Рассеянная компонента оказывает вуалирующее воздействие на проекционное изображение, приводит к «размытию» реконструированной томограммы, значительно понижает чувствительность диагностики. Показано, что относительная чувствительность при визиографии может быть оценена из соотношения:

$$\frac{\Delta z}{z} = \frac{A \Delta J_{\min}}{\mu y z} B, \quad (6)$$

где  $\Delta J_{\min}$  - минимально различимая разность сигналов регистрируемых ПЗС – структурой. Для устранения влияния рассеянного излучения предложено использовать фронтальные – перед просвечиваемым объектом щелевые диафрагмы и тыловые коллимационные экраны, располагаемые между ПЗС - приемником и тыловой частью просвечиваемой зоны объекта рис. 1 г).

Наибольшую сложность при дентальной рентген диагностике вызывает выявление кариесных областей под пломбами, особенно металлическими. Вид функции фактора накопления для указанного диапазона энергий, для материала соответствующего составу сплава коронок показан на рис. 1 г). Заметим, что с увеличением просвечиваемой эффективной толщины, эффект насыщения выражен наиболее заметно. Для расчета параметров коллиматора и щелевой диафрагмы необходимо знать интенсивность рассеянного излучения попадающего на эту систему. Для данного класса задач это можно сделать, воспользовавшись методикой предложенной в работе [5]. Полученная расчетная, таким образом, формула имеет вид:

$$I_d^{pi}(E_0, \mu_0 z, r) = 1,12 N_0 e^{\mu_0 z} \mu_0^2 \frac{\alpha_0^{0,58}}{(\mu_0 z)^{0,17}} [-E_i(-\frac{1,69 \alpha_0^{0,19}}{(\mu_0 z)^{0,56}} \mu' r)], \quad (7)$$

здесь  $N_0$  - мощность входного пучка излучения,  $\alpha_0$  - начальная энергия рентгеновских фотонов в единицах  $(m_0 c^2)$ ,  $\mu'$  - линейных коэффициент ослабления, соответствующий средней энергии первого комптоновского рассеяния,  $E_i$  - интегральная экспонента,  $z$  - толщина барьера.

Так как используемые источники излучения являются немонотонными энергетическими, то простейшее интегральное, приведенное выше уравнение, записываемое для однофотонного приближения узкого моноэнергетического пучка, оказывается непригодным. Хорошо известно, что коэффициент линейной поглощения существенно зависит от энергии излучения, следовательно, задача МВТ – реконструкции в этом случае становится нелинейной. Пренебрежение этим обстоятельством приводит к существенным

ошибкам в результирующем изображении. Оценку погрешностей, обусловленных немонотонностью излучения можно произвести следующим образом. Для немонотонного излучения выражение для функции проекций можно записать:

$$p_{mm}(l, \theta) = -\ln \frac{\int_{E_1}^{E_2} \Phi_0(E) \exp[-\iint_{\infty} \mu(x, y, E) \delta(x \cos \theta + y \sin \theta - l) dx dy] dE}{\int_{E_1}^{E_2} \Phi_0(E) dE}, \quad (8)$$

здесь  $\Phi_0(E)$  - спектральная плотность потока излучения.

При оценке чувствительности МВТ – диагностики необходимо учитывать то обстоятельство, что ее значение будет изменяться (уменьшаться) при приближении к периферии изображения. В приближении плоскопараллельного барьера получено выражение для определения относительной погрешности за счет немонотонности источника излучения в виде:

$$\delta_{mm} = -\frac{\cos \theta}{\mu_0(E_0)z} \ln \left[ \frac{2 \cos \theta \cdot Sh(\mu_0(E_0)\beta\Delta E \cdot z / 2 \cdot \cos \theta)}{\mu_0(E_0)\beta\Delta E z} \right]. \quad (9)$$

Простейший анализ показывает, что рассматриваемая погрешность определяется параметрами барьера  $\mu_0(E_0)z$ , направлением просвечивания  $\theta$  (рис. 1 е)), и величиной  $\beta\Delta E$ . На рис. 1 ж) показаны функциональные зависимости  $\delta(\mu_0z, \theta, \beta\Delta E)$ . Анализируя полученные графики можно сделать следующие важные выводы:

- Предельный угол конвергенции не должен превышать величину  $\theta \leq \pm\pi/3$ , оптимальным является диапазон  $\theta \leq \pm\pi/6$ ,
- Погрешность, связанную с немонотонностью пучка можно снизить, уменьшая величину  $\beta\Delta E$ , например, путем фильтрации излучения в зоне рентгеновской трубки.

При разностном способе формирования проекций относительная ошибка, обусловленная немонотонностью потока, может быть определена с помощью соотношения:

$$\Delta P_{mm} = -\frac{\cos \theta}{\mu_0(E_0)z} \ln \left[ \frac{z}{z_{i0}} \frac{Sh(\mu_0(E_0)\beta\Delta E \cdot z_{i0} / 2 \cdot \cos \theta)}{Sh(\mu_0(E_0)\beta\Delta E \cdot z / 2 \cdot \cos \theta)} \right]. \quad (10)$$

Заметим, что при  $z = z_{i0}$  относительная погрешность, за счет полихроматичности излучения, оказывается равной нулю.

Точность 3D – реконструкции таких малоразмерных объектов, в направлении просвечивания, как корневые каналы, при всех прочих условиях, существенно зависит от уровня раскрытия пучка – степени его конусности, равномерности углового распределения плотности потока и энергий фото-



нов. Для конусной геометрии просвечивания, при регистрации данных матричным детектором, нами получено выражение для функции проекции в виде:

$$P_m(l, \theta_m) = P_m(l, \theta + \text{arctg}(l/F)), \quad (11)$$

здесь  $F$ - фокусное расстояние. Важно отметить, что в пространстве Радона эти проекции располагаются иначе, нежели при геометрии плоскопараллельного пучка. С увеличением координаты  $l$  проекции расходятся, так как направление угла проецирования зависит от величины:

$$\left[ m \frac{\pi}{M} + \text{arctg}\left(\frac{n\Delta l}{F}\right) \right].$$

Следовательно, после того как получены проекционные данные в конусной (вверной) геометрии их с помощью методов линейной интерполяции необходимо пересчитать в проекции соответствующие геометрии ортогонального проецирования.

Следует также отметить, что конусность потока излучения, а она присуща всем рентгеновским излучателям, приводит к еще одному нежелательному эффекту. Фокусное расстояние  $F_g = F_0 / \cos \vartheta$ , толщина просвечиваемого материала  $z_g = z_0 / \cos \vartheta$  (здесь  $\vartheta = \text{arctg}(F_0 / x_g)$ ,  $x_g$ - расстояние от центра проекции до периферийного элемента,  $F_0, z_0$  - фокусное расстояние и толщина материала в центре проекции,  $F_g, z_g$  - значение этих же параметров на периферийной зоне). Влияние этих параметров приводит к тому, что яркость, контраст и резкость в реконструированном изображении оказываются различными в центре томограммы и на периферии. Показано, что при небольшом снижении чувствительности – 0,3%, следует ограничивать угол расхождения пучка в пределах  $\pm 15^\circ$ .

Существенную роль на величину разрешающей способности оказывает нерезкость теневых изображений регистрируемых проекций. Геометрическую нерезкость принято [1] определять в виде:

$$\Delta x_\phi = (\Phi \cdot b) / (F - b),$$

здесь  $\Delta x_\phi$  - значение геометрической нерезкости,  $\Phi$  – диаметр эффективного фокусного пятна. Понятно, что с увеличением фокусного расстояния –  $F$  величина геометрической нерезкости уменьшается. Несложно показать, что условием оптимальности величины фокусного расстояния в этом случае будет соотношение:

$$F \geq b \left( \frac{\Phi}{\Delta x_{\phi, \max}} + 1 \right).$$

Кроме геометрической нерезкости, при регистрации исходных теневых проекций матрицами на основе ПЗС – структур, необходимо учитывать

внутреннюю нерезкость приемника, обусловленную переносом заряда по объему полупроводника, вклад рассеянного излучения рожденного в коллиматоре и сцинтилляторе и т.д.

Качество системы регистрации исходных проекционных данных можно оценить с помощью частотно-контрастной характеристики – ЧКХ. Понятно, что ЧКХ зависит от величины общей нерезкости  $\Delta x$ , если принять, что функция рассеяния линии на изображении определяется соотношением:

$$\varphi(x) = \frac{2,3}{\Delta x} e^{-\frac{2|x|}{\Delta x}},$$

то можно получить соотношение для оценки ЧКХ в виде:

$$T_D(\nu) = \frac{1}{1 + (0,43\pi\Delta x\nu)^2}. \quad (12)$$

Следовательно, максимальная разрешающая способность эквивалентна максимально передаваемой частоте  $\nu_{\max}$ , определяемой по ЧКХ на уровне предельных значений контрастной чувствительности. Показано, что разрешающая способность для рассматриваемых задач определяется выражением:

$$\nu_{\max} = \xi(1,3/\Delta x),$$

( $\xi - const$ , зависящая от количества и размеров элементов матрицы) откуда можно получить значение минимально возможное значение интервала дискретизации теневого изображения проекции:

$$\Delta l \geq \frac{\Delta x}{2,6\xi}. \quad (13)$$

С точки зрения точности и достоверности реконструкции параметров исследуемых объектов, в рассматриваемом малоракурсном классе задач, при условии формирования исходных двумерных данных в конусном пучке при ограниченном угле конвергенции целесообразно искать решение задачи реконструкции в виде свертки точного значения реконструируемого изображения  $\mu(x, y)$  с некоторой аксиально-симметричной функцией  $g(x, y)$ . Эта функция достаточно гладкой и монотонно убывающей на конечном интервале в пространстве сигналов

$$g(x, y) = \begin{cases} g(x, y), & x^2 + y^2 \leq 1 \\ 0, & x^2 + y^2 > 1 \end{cases}$$

амплитуда спектральных составляющих ее спектра за пределами некоторой частоты  $\omega_G$  должна стремиться к нулю.

По аналогии с методикой описанной в [1] введем в рассмотрение некоторую функцию определяемую как:

$$\tilde{\mu}(x, y) = \mu(x, y) \otimes \otimes g(x, y). \quad (14)$$

Условия выбора вида функции  $g(x, y)$  обеспечивают подавление частотных составляющих функции  $\mu(x, y)$ , начиная с частоты  $\omega_G$ . Авторами [2], показано что, не смотря на всю привлекательность ядра Хемминга:

$$g(x, y) = \begin{cases} \alpha + (1 - \alpha) \cos((\pi \sqrt{x^2 + y^2})), & x^2 + y^2 \leq 1 \\ 0, & x^2 + y^2 > 1 \end{cases}$$

при  $\alpha = 0,54$ , на частотах выше  $2\pi / a_{a-1}$  имеются пульсации в области высоких частот главного максимума и в боковых лепестках, хотя они и незначительны. Применение подхода в виде (14) дает возможность уверенно подавить пульсации в боковых лепестках.

Вид функции свертки для алгоритма 2D – реконструкции можно определить исходя из следующих рассуждений. Соотношение (14) можно представить в виде:

$$\mu(x, y) \otimes \otimes g(x, y) \int_0^\pi \hat{p}(x \cos \theta + y \sin \theta) d\theta. \quad (15)$$

Или

$$\mu(x, y) \otimes \otimes g(x, y) = \int_0^\pi d\theta \int_{-\infty}^\infty p(\tau, \theta) h(l - \tau) d\tau. \quad (16)$$

Из последнего уравнения можно выделить составляющую:

$$g(x, y) = \int_0^\pi h(l) d\theta,$$

с учетом того, что  $l = x \cos \theta + y \sin \theta$ , а функция  $g(x, y)$  в соответствие с выше принятой договоренностью является аксиально-симметричной функцией, для значения  $x = 0$  получим:

$$g(y) = 2 \int_0^{\pi/2} h(y \sin \theta) d\theta. \quad (17)$$

Выражение (17) является интегральным уравнением Шлёмилха, его решение имеет вид:

$$h(y) = g(0) + y \int_0^{\pi/2} g'(y \sin \theta) d\theta.$$

Если подставить это решение в функцию окна Хемминга, для  $y \leq a$  можно получить:

$$h(y) = 1 - (1 - \alpha) \frac{\pi y}{2a} \int_0^{\pi/2} \sin\left(\frac{\pi y}{a} \sin \theta\right) d\theta = 1 - (1 - \alpha) \frac{\pi y}{2a} \Omega_0\left(\frac{\pi y}{a}\right), \quad (18)$$

здесь  $\Omega_0(z)$  - функция Ломмеля – Вебера, для  $y > a$  можно получить:

$$h(y) = 1 - (1 - \alpha) \frac{\pi y}{2a} \int_0^{\arcsin(a/y)} \sin\left(\frac{\pi y}{a} \sin \theta\right) d\theta. \quad (19)$$

Разложив в последнем выражении подынтегральную функцию в ряд Фурье по функциям Бесселя, объединенное решение для (18), (19) имеет вид:

$$h(y) = \begin{cases} 1 - (1 - \alpha)(0,86\pi^2 y / 2a) \Omega_0(\pi y / a), & y \leq a \\ 1 - (1 - \alpha)(0,86\pi^2 y) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{(2k-1)} J_{2k-1}\left(\frac{\pi y}{1,12a}\right) [1 + (-1)^k U_{2k-1}\left(\frac{a}{y}\right)], & y > a \end{cases}, \quad (20)$$

здесь  $J_n(z)$  - функция Бесселя  $n$ -го порядка,  $U_n(z)$  - полиномы Чебышева 2-го порядка. Полученное малоракурсное ядро имеет много общего с ядром предложенным авторами [2,3], это естественно, так как при выводе (20) были использованы аналогичные рассуждения и предпосылки. Заметим, что такие ядра в отличие от хорошо известных ядер Хемминга, Рамачандра и пр., в области высоких частот имеют вид плавно нарастающей к нулю кривой, при полном отсутствии осцилляций, что значительно снижает уровень артефактов. Общий вид функции ядра свертки показан на рис. 1 з), а на рис. 1 и), к) приведены соответственно импульсный отклик для 9 проекций при формате реконструкции томограммы ( $100 \times 100$ ) элементов, при значениях  $\omega_G = 2\pi/a$ ,  $\alpha = 0,54$ ,  $a = 5,0$ , уровень артефактов для данного случая не превышает 10%. Важно отметить, что параметр  $a$  в полученной функции ядра играет роль параметра степени регуляризации, действительно при больших значениях  $a > 9$  изображение размывается, при малых значениях  $a < 3$  разрешающая способность повышается. Однако при этом растет уровень артефактов, амплитуды которых оказываются соизмеримыми с амплитудами элементов изображений малоконтрастных объектов. Компромисс в данном случае, между числом исходных проекций, разрешающей способностью алгоритма и качеством изображения устанавливается выбором оптимальных величин параметров  $a, \alpha$  ядра свертки. Наиболее эффективно оптимизировать эти параметры, можно учитывая априорную информацию об исследуемых объектах, например, в соответствии с методиками, изложенными в монографии [1].

Рентгеновские визиографы для стоматологической диагностики комплектуются стандартными ПК, что несколько усложняет процедуры трехмерной томографической реконструкции, так как на реконструкцию полутонового изображение 2D – томограммы, например, формата (256 H 256) элементов обычные однопроцессорные (двухпроцессорные) ПК затрачива-

ют несколько секунд. Для уменьшения временных затрат на процедуры 3D - томографической реконструкции можно использовать методику трехмерного восстановления на основе выделения изопараметрических контуров [6] в двумерных проекциях, формированием требуемых 3D - изопараметрических поверхностей, с последующим представлением информации в объемном (проекционном) виде.

#### Список использованных источников

1. Филонин О.В. Малоракурсная томография. Самара: СНЦ РАН, 2006.- 256 с.
2. Филонин О.В., Явцев В.Ф. Методы малоракурсной вычислительной томографии в диагностике сварных соединений. /Техническая диагностика и неразрушающий контроль.- 1989. №2. С. 34 – 42.
3. Филонин О.В. Исследование качества сварных соединений и структуры композиционных материалов с помощью методов и средств малоракурсной рентгеновской томографии. // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». - 2002. – Пенза. С.85 – 89.
4. Румянцев С.В. Радиационная дефектоскопия. – М.: Атомиздат, 1972. – 512 с.
5. Бергельсон Б.Р., Зориков Г.А. Справочник по защите от излучения протяженных источников. – М.: Атомиздат, 1965. – 176 с.
6. Филонин О.В. Малоракурсные оптические томографы для исследования плазменных объектов. Инженерная физика. – 2006. №5, С. 4 – 14.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ НА РАСТЯЖЕНИЕ БЕССВИНЦОВЫХ ПРИПОЕВ (SN/0.7CU), ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ**

Фэн Лэй(Feng Lei)

Московский государственный технический университет  
имени Н.Э.Баумана, г. Москва

С 1 июля 2006 года свинец запрещен в Европейском Сообществе к использованию при производстве РЭА. Переход на бессвинцовую технологию является главной проблемой изготовителей, которые направляют исследования на поиск оптимальных материалов для производства РЭА и соответствующей технологии.

Прочность на растяжение является одним из самых важных механических свойств используемых припоев. Чаще всего используются показатели качества и прочности соединения в соответствии с ГОСТ 30535-97. Оценка среднего арифметического и среднего квадратичного отклонения (СКО) является основой расчетов параметров надежности.

Для получения представительных результатов технологический процесс пайки бессвинцовым припоем должен состоять из следующих операций:

- механическая или химическая очистка;
- предварительное облуживание припоем;
- введение припоя, его расплавление и удаление излишков припоя.

Для выполнения процесса пайки использовалась паяльная станция в виде нагревающейся пластины со стабилизатором заданной температуры. Стабилизируются два фактора: температура и продолжительность пайки. Оба эти фактора играют существенную роль при достижении прочности и однородности получаемых паяных соединений. В соответствии с ГОСТ 28830-90 образцы для испытания на растяжение получались путём пайки двух медных стержней диаметром 3.5 mm. Изготовленный образец и его параметры представлены на рис.1.

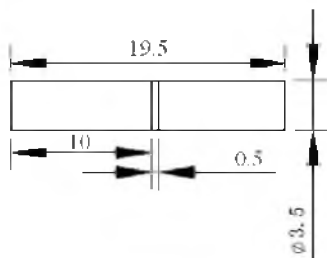


Рис.1. Образец для испытаний



Рис.2. Растягиваемый образец

Образец, растягиваемый на разрывной машине, показан на рис.2. Для всех разорванных образцов фиксировалось усилие разрыва и оценивалась

прочность на растяжение. Все образцы испытывались при комнатной температуре и время пайки для каждой групп образцов было одинаковым.

Ниже приведены результаты испытаний образцов, пайка которых осуществлялась при трех значениях температур.

Зависимость прочности от температуры и зависимость СКО от температуры показаны на рис.3 и рис.4.

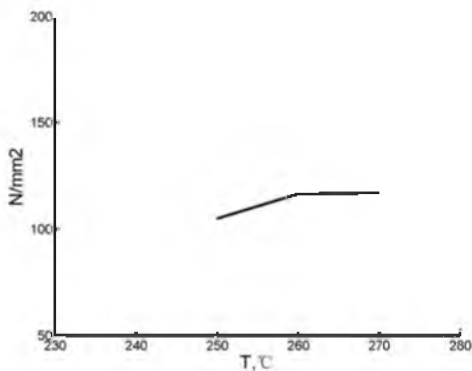


Рис.3. Зависимость прочности от температуры

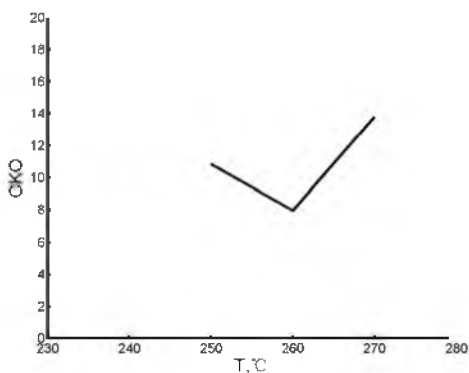


Рис.4. Зависимость СКО от температуры

Таким образом, на приведенных рисунках показано, что в испытанном диапазоне с повышением температуры прочность на растяжение пайки

бессвинцовым припоем повышается. Стабильность паяных соединений в диапазоне 250°C-260°C падает, а затем резко повышается.

#### Список использованных источников

1. Fulong Zhu, Honghai Zhang, Rongfeng Guan Investigation of microstructures and tensile properties of a Sn-Cu lead-free solder alloy. Journal of materials science.- 2006, 17. С.379-384.

### АДАПТИВНАЯ И АКТИВНАЯ ОПТИКА В СИСТЕМАХ КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

К.В.Шишаков

Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск

Для организации связи с подвижными космическими объектами и в часто изменяемых структурах систем обмена информацией перспективно использование оптической связи через свободное пространство. Разрабатываются системы, позволяющие выводить оптический сигнал на любом участке оптоволоконных сетей, регенерируя его направление на спутник. Обмен информацией между орбитальными группировками спутников (малых космических аппаратов) также планируется выполнять через создаваемые в космическом пространстве оптические каналы. В научной литературе исследуются возможности ввода оптических сигналов со спутников в различные участки наземных оптоволоконных сетей связи. Такой процесс рассматривается как с регенерацией приемного сигнала, так и непосредственно без его регенерации (особенно при волновом мультиплексировании - одновременной работе на разных длинах волн). В последнем случае для обеспечения эффективной фокусировки принимаемого оптического поля в сердцевину оптического волокна (диаметром в несколько десятков микрометров) предполагается использование адаптивной оптики.

Из-за малых длин волн на длинные космические оптические каналы воздействует большое число эксплуатационных внешних и внутренних возмущающих факторов, компенсацию которых связывают с использованием высокоточных систем наведения. Такие системы включают в себя элементы активной (низкочастотной, используемой для коррекции аберраций в оптико-механической конструкции) и адаптивной (высокочастотной, используемой для коррекции турбулентности атмосферы) оптики. При этом в активной и адаптивной оптике обычно конструктивно выделяют элементы



сопровождения – для установки оптических каналов связи и элементы коррекции волнового фронта – для повышения их КПД.

В системах оптической связи между спутниками (КА) через космическое пространство из-за небольших размеров приемных и передающих апертур значительных эксплуатационных аберраций волнового фронта в оптических трактах обычно не возникает. Поэтому здесь часто достаточно применения высокоточной низкочастотной системы сопровождения (с полосой частот, незначительно превышающей частоты колебаний КА). Для установки такой связи требуется предусмотреть систему предварительного поискового оптического сканирования.

Системы передачи информации по оптическому каналу с КА на Землю или с Земли на КА относятся к космической оптической связи через атмосферу. Для них можно рассматривать два варианта систем связи. В первом варианте различают «окончательный» прием сигнала или промежуточный – с его последующей регенерацией. В обоих случаях производится регистрация сфокусированного по приемной апертуре оптического поля фотодетектором. За счет увеличения размера фотодетектора (или использования оптической ПЗС матрицы с выявлением блуждающего по ней пятна фокусировки) можно несколько ослабить требования к точности сопровождения и коррекции волнового фронта (в том числе не учитывать атмосферные и эксплуатационные аберрации приемной оптики).

Во втором варианте предполагается принимаемый на Земле со спутника оптический сигнал непосредственно вводить в оптическое волокно для дальнейшей его передачи по оптоволоконной сети. Для этого применяется адаптивная оптика, компенсирующая высокочастотные атмосферные случайные блуждания и деформации пятна фокусировки. Организация обратной связи в таких системах окончательно производится через максимизацию выведенного из оптоволокна части оптического излучения (например, вытекающего на его изгибе). Для повышения быстродействия обратной связи может также использоваться обратная связь по датчику волнового фронта (Гартмана) с юстировочной коррекцией его нулей через максимизацию интенсивности вошедшего в оптоволокно излучения.

При использовании больших приемных апертур для эффективного приема оптических сигналов от космических передатчиков малой мощности или от удаленных КА может также потребоваться использование активной оптики (например, для облегченных тонких зеркал).

По сравнению с рассмотренными системами приема оптического сигнала через атмосферу, системы его передачи имеют ряд особенностей. При передаче сигнала с Земли обычно отсутствуют ограничения на мощность передатчика. Устанавливая необходимое число каскадов усиления можно добиться достаточно высокой мощности передачи. Поэтому пере-

дающие апертуры обычно невелики. В передающих системах первоочередное значение имеют системы сканируемого поиска приемника и системы его сопровождения. Системы коррекции волнового фронта здесь также могут быть использованы в следующих направлениях. Во первых эта система исправления фазовых аберраций в оптическом тракте передатчика (в том числе, в усилителях), во вторых – в атмосфере (методом градиентного поиска или фазового сопряжения). Реализация систем передачи оптического сигнала также возможна с использованием систем переотражения направляемого с Земли оптического сигнала на другие КА.

В докладе рассматриваются алгоритмы адаптивной и активной оптики для систем космической связи, в том числе сопровождение КА в условиях эксплуатационных возмущений: ветра, зубцовых микропульсаций тока, прогибности валов и статоров его электродвигателей наведения.

## **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОРМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРОВИ**

С. А. Акулов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Измерение концентрации форменных элементов крови играет важную роль при оценке и контроле функционального состояния организма при анемических состояниях и травматических кровопотерях в условиях палат реанимации и интенсивной терапии. Основным показателем степени кровопотери организма является гематокрит – отношение объёма форменных элементов крови к общему объёму крови. Форменные элементы крови: эритроциты, тромбоциты, гранулоциты (полинуклеары), лимфоциты, плазматические клетки и моноциты (мононуклеары).

В настоящее время для определения гематокрита крови используются следующие методики:

- определение гематокрита методом центрифугирования.
- расчёт гематокрита методом расчёта общего числа кровяных клеток (фотоэлектрический метод).
- определение гематокрита путём измерения проводимости крови (импедансометрический метод).
- вычисление гематокрита по концентрации гемоглобина.

Импедансометрический метод определения гематокрита основан на измерении полного комплексного сопротивления крови. При снижении уровня гематокрита отмечается уменьшение активной составляющей импе-

данса крови и сдвиг максимума емкостной составляющей импеданса в область низких частот.

Разработан измерительный преобразователь для экспресс-оценки уровня гематокрита крови, содержащий измерительную ячейку, электроды, генератор импульсов измерительного тока, усилитель, микроконтроллер и внешний интерфейс.

Исследуемая кровь помещается в измерительную ячейку. Измерительный ток с генератора поступает на электроды и вследствие прохождения через кровь вызывает падение напряжения, регистрируемое усилителем. С выхода усилителя напряжение, несущее информацию о величине гематокрита, поступает на микроконтроллер, где вычисляется полное комплексное сопротивление исследуемой крови. Окончательная обработка и отображение полученных результатов осуществляется при помощи внешнего интерфейса.

Исследование контрольных проб кровезаменителей с различными показателями гематокрита показали погрешность оценки уровня гематокрита менее 7 %. Полученная точность измерений позволяет сделать вывод о возможности использования данного измерительного преобразователя для оценки уровня гематокрита крови при неотложной помощи и в условиях палат реанимации и интенсивной терапии.

## **СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТА УТЕЧКИ ВОЗДУХА ИЗ МОДУЛЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ ПРИ ПОМОЩИ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВРЕМЯПРОЛЁТНОГО ТИПА**

И.В. Пияков

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для построения модели поиска места утечки воздуха из модуля КА примем следующие допущения:

1. Будем считать, что газ описывается моделью разреженного газа, которая справедлива для газовых смесей при давлении  $10^{-3} - 10^{-7}$  мм.рт.ст. В этом случае длина свободного пробега молекул определяется геометрическими размерами пространства и не зависит от плотности газа.

2. Считаем источник газа (место утечки воздуха) точечным источником, размеры которого намного меньше расстояния от него до прибора.

3. Распространение воздуха равномерное в полупространстве во всех направлениях.

Согласно принятым допущениям схема утечки представлена на рис. 1.

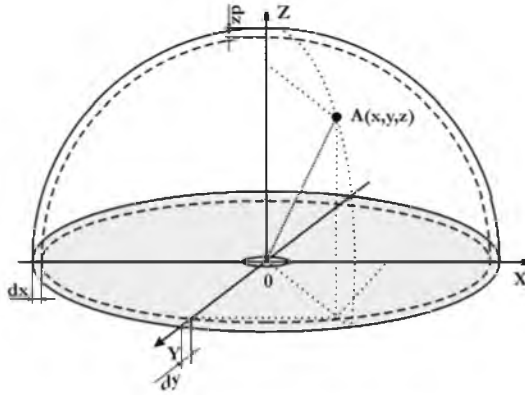


Рис.1. Распространение воздуха

Поток воздуха, инициированный местом утечки воздуха описывается уравнениями:

$$I = \left\{ \frac{2}{1 - \frac{p_0 - p_{\text{ВЫХ}}}{p_0 + p_{\text{ВЫХ}}}} \exp \left( -2 p_{\text{ВЫХ}} \frac{m_0}{kMV} \frac{\pi R}{256\eta} \frac{D^4}{L} \tau \right) \right\}$$

для отверстия или щели;

$$I = \frac{b^2 (p^2 - p_0^2)}{2\eta L} \left[ \frac{a^2}{8} + \frac{b}{2} \left[ b \ln \left( \frac{\frac{a}{2} + b}{b} \right) - \frac{a}{2} \right] \right] \frac{m_0}{kT}$$

для щели с вязкостным истечением.

Определим скорость потока:

$$\omega = \frac{I}{S} = \frac{I}{2\pi\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}},$$

где  $x, y, z$  – координаты бленды при условии, что место утечки находится в начале отсчета системы координат.

Тогда скорость переноса воздуха через бленду прибора за единицу времени в точке  $A(x, y, z)$  – нахождения приёмного окна (бленды) прибора для определения места утечки воздуха из КА определяется согласно выражению:

$$\Omega = \frac{I \times S_0}{2\pi\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \text{ [кг/с]},$$

где  $S_0$  – площадь окна бленды.

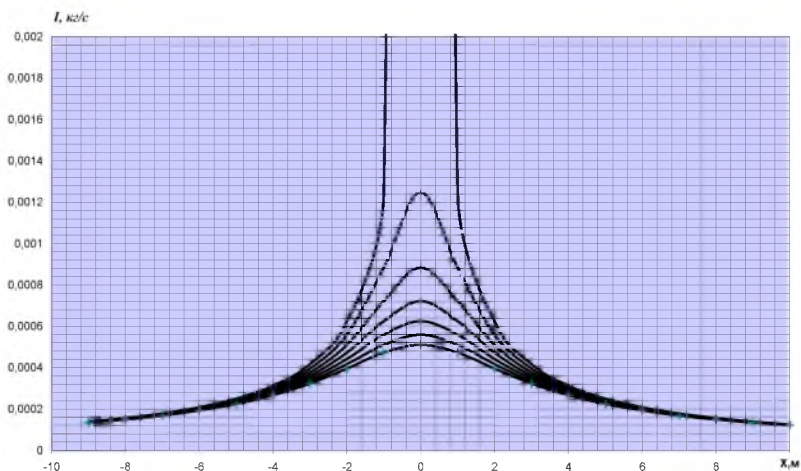


Рис.2. Распределения потока утечки воздуха  $1 \text{ кг/м}^2\text{с}$  на расстоянии  $0 - 6 \text{ м}$  над местом утечки воздуха со смещением  $\pm 10 \text{ м}$  от него при диаметре приемного окна  $50 \text{ мм}$

Как видно, в приборе плотность потока составит не более  $0,12 \%$  плотности всего истекаемого воздуха, что предъявляет высокие требования к чувствительности. Таким образом, наиболее предпочтительным является использование именно ионизационного сепаратора в составе многопараметрического течеискателя. График (рис.2) дает возможность пересчитать концентрации в точке нахождения прибора для различных видов течи.

Примем усредненную по компонентам с учетом их концентрации массу молекулы воздуха примерно равной  $4,814 \times 10^{-26} \text{ кг}$  и пересчитаем количество молекул, проходящих через приемную камеру прибора. Будем считать, что зона ионизации сепаратора имеет цилиндрическую форму, диаметром, равным диаметру приемного окна. Тогда количество молекул, которые подвергнутся взаимодействию с ионизирующим излучением, составит:

$$n = \frac{\Omega}{m_0} = \frac{I \times S_0}{2\pi m_0 \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} t_{II},$$

где  $m_0$  – масса молекулы воздуха,  $t_{II}$  – время ионизации.

В  $1 \text{ кг}$  воздуха содержится примерно  $2,08 \times 10^{+25}$  молекул. Таким образом рассчитаем число молекул, подвергнутых ионизации для различных типов утечки.

Таблица 1

Тип утечки	Концентрация в зоне утечки, $1/\text{см}^3$	Число молекул, подвергнутых ионизации на расстоянии 1 м над зоной утечки
Щель $0,5 \times 10$ мм	$10^{15}$	120000
Щель с вязкостным течением	$5 \times 10^{14}$	60000
Канал $D = 0,5$ мм.	$10^{14}$	12000
Канал $D = 100$ мкм.	$10^{13}$	1200

На рис. 3 показаны концентрации для случая щели  $0,5 \times 10$  мм.

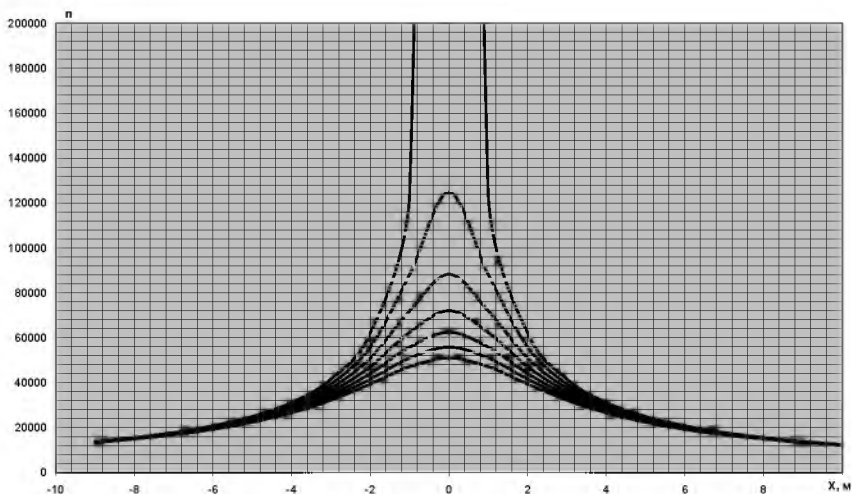


Рис.3. Число молекул, подвергнутых ионизации за время  $0,1$  мкс при поиске течи от щели  $0,5 \times 10$  мм в зависимости от расположения датчика на высоте  $0,6$  м над обшивкой КА

Как видно из табл. 1 и рис.3 различить канал с диаметром менее  $100$  мкм с помощью ионизационного датчика на расстоянии более  $1$  м не представляется возможным. Единственным способом является использование ионизационного сепаратора времяпролетного типа.

Выше рассматривался случай для разреженного газа. Такое допущение справедливо для концентрации струи газа многократно превышающей

концентрацию частиц (атомов и молекул) собственной внешней атмосферы КА (СВА КА). Для течей небольших размеров на малых расстояниях от обшивки КА (10...100 мм) рассмотрим случай взаимной диффузии молекул воздуха в СВА:

$$c(r, t) = \frac{M}{8\rho\sqrt{(\pi Dt)^3}} \exp\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right),$$

где  $M$  – первоначальная масса растворяемого вещества;  $\rho$  – плотность вещества,  $r$  – расстояние,  $t$  – время,  $D$  – коэффициент диффузии.

В случае диффузии, ограниченной полуплоскостью (корпус КА) будем считать, что взаимодействия молекул воздуха с обшивкой КА носит упругий характер, то есть концентрация в полуплоскости распространения увеличиться в 2 раза:

$$c(r, t) = \frac{M}{4\rho\sqrt{(\pi Dt)^3}} \exp\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right).$$

Для данного случая коэффициент диффузии вычисляется по формуле:

$$D = \frac{1}{3} \bar{u} \bar{\lambda},$$

где  $\bar{u}$  – средняя скорость теплового движения молекул  $\bar{\lambda}$  – длина свободного пробега. Средняя скорость вычисляется исходя из распределения Максвелла и составляет:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}.$$

Длина свободного пробега

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2}n_0\sigma},$$

где  $n_0$  – число молекул газа в  $1 \text{ см}^3$ ,  $\sigma$  – эффективное газокинетическое сечение (эффективный диаметр молекулы). Для молекул с диаметром  $d \sim 10^{-10}$  м определяется выражением  $\sigma = \pi d^2$ .

В этом случае выражение для концентрации примет вид:

$$c(r, t) = \frac{M}{4\rho\sqrt{\left(\frac{2}{3n_0\sigma}\sqrt{\frac{\pi kT}{m_0}}t\right)^3}} \exp\left(-\frac{r^2}{\frac{8}{3n_0\sigma}\sqrt{\frac{kT}{\pi m_0}}t}\right).$$

В случае монотонного истечения газа, масса вычисляется по формуле:

$$M = M_v t ,$$

где  $M_v$  – скорость истечения газа [кг/с].

Таким образом, использование ионизационного преобразователя для определения места утечки воздуха наиболее целесообразно на первом этапе: приближенное определение сектора на расстоянии порядка 1 м. Дальнейший поиск рекомендуется проводить именно масс-спектрометрическим преобразователем.

## СПОСОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ ДКВП

М.Н Филимонова, А.С. Рогова

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Способ автоматической коррекции выходных сигналов ДКВП основан на использовании современных микропроцессорных средств первичной обработки измерительной информации. Он позволяет существенно повысить точность преобразования для простых, надежных и дешевых электромеханических блоков ДКВП. Суть разработанного способа коррекции заключается в следующем:

1. Определяют сумму модулей выходных сигналов ДКП

$$C_1 = |x_1| + |y_1| , \quad (1)$$

где  $x_1$  и  $y_1$  – текущие значения выходных сигналов ДКП;

2. Определяют значение вспомогательного коэффициента коррекции

$$K^* = \frac{C_1}{C_M} , \quad (2)$$

где

$$C_M = |\max x_1| = |\max y_1|$$

значение выходного сигнала при максимальном отклонении подвижной части ДКП по одной из координатных осей;

3. Определяют геометрическую сумму текущих значений выходных сигналов ДКП

$$C_2 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2} . \quad (3)$$

4. Определяют корректирующую поправку



$$\Delta C = (C_1 - C_2) \cdot K^* . \quad (4)$$

5. Определяют скорректированное значение модуля геометрической суммы входных сигналов ДКП

$$C_3 = C_2 + \Delta C , \quad (5)$$

6. Определяют азимут отклонения подвижной части ДКП

$$\chi = \operatorname{arctg}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) , \quad (6)$$

7. Получают скорректированные значения выходных сигналов ДКП

$$x_{\text{вых}} = C_3 \cdot \cos \chi , \quad y_{\text{вых}} = C_3 \cdot \sin \chi . \quad (7)$$

Для использования рассмотренного способа коррекции в микропроцессорном вычислительном устройстве необходимо преобразовать математические операции, содержащиеся в способе коррекции, таким образом, чтобы получить единое аналитическое выражение.

При этом, для координаты  $x_{\text{вых}}$  можно записать:

$$x_{\text{вых}} = (C_2 + \Delta C) \cdot \cos \left[ \operatorname{arctg}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) \right] . \quad (8)$$

Представим аргумент косинусной функции в следующем виде:

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) = \arccos \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} . \quad (9)$$

Тогда:

$$x_{\text{вых}} = \left[ \sqrt{x_1^2 + y_1^2} + \frac{C_1}{C_M} \left( |x_1| + |y_1| - \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \right) \right] \cdot \frac{x_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} , \quad (10)$$

$$x_{\text{вых}} = \left[ 1 + \frac{|x_1| + |y_1|}{C_M} \cdot \left( \frac{|x_1| + |y_1|}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} - 1 \right) \right] \cdot x_1 . \quad (11)$$

Аналогичным образом можно получить выражение для вычисления  $y_{\text{вых}}$ . При этом следует учитывать, что

$$\operatorname{arctg}\left(\frac{y_1}{x_1}\right) = \arcsin \frac{y_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} . \quad (12)$$

С учетом последнего соотношения окончательная формула для  $y_{\text{вых}}$  примет такой вид:

$$y_{\text{вых}} = \left[ 1 + \frac{|x_1| + |y_1|}{C_M} \cdot \left( \frac{|x_1| + |y_1|}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} - 1 \right) \right] \cdot y_1. \quad (13)$$

С целью упрощения микропроцессорного корректирующего устройства представим формулы для выходных величин с помощью двух коэффициентов коррекции  $\kappa_1$  и  $\kappa_2$ :

$$x_{\text{вых}} = [1 + \kappa_1 \cdot \kappa_2] \cdot x_1, \quad y_{\text{вых}} = [1 + \kappa_1 \cdot \kappa_2] \cdot y_1. \quad (14)$$

Здесь принято:

$$\kappa_1 = \frac{|x_1| + |y_1|}{C_M}, \quad \kappa_2 = \frac{|x_1| + |y_1|}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} - 1. \quad (15)$$

Вычисления в микропроцессорном узле производятся по корректирующему полиному, аналитически задающему в декартовых координатах в явном виде выходную координату  $U_{\text{ВЫХ } x}$  или  $U_{\text{ВЫХ } y}$ . Независимыми переменными в этом полиноме выступают  $x_1$  и  $y_1$  – координаты соответствующей точки деформированной окружности.

Для вычисления полинома в микропроцессорном узле преобразователя выбран восьмиразрядный однокристалльный микроконтроллер отечественного производства типа КМ1830ВЕ51, который является функциональным аналогом микроконтроллера типа 80С51ВН из семейства MCS-51 фирмы Intel. Основной особенностью вычислительных процедур микроконтроллера является то, что его микропроцессор оперирует только положительными и целыми двоичными числами, поэтому требуемая точность вычисления данных обеспечивается алгоритмически программным путем.

#### Список использованных источников

1. Ухлинов Д.И. Двухкоординатные вихретоковые преобразователи механических величин с микропроцессорной коррекцией функции преобразования. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. – 142 с., ил.

## ПРИНЦИПЫ ИТЕРАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Г.Ф. Краснощекова

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Логическая схема, может быть, представлена совокупностью логических комбинационных элементов и элементов памяти (триггеры, элементы задержки). Математические модели таких схем представлены в виде

уравнений с указанием связи её элемента и функциональной зависимости выходных сигналов от входных и от внутренних состояний элементов.

Сигналы, поступающие на входы логических элементов и формируемые на выходе, представлены в модели в модели сигналов, с учетом отображения различных свойств реальных сигналов. Простейшей и наиболее распространённой моделью сигналов является двоичное или булева модель, в которых переменная в основных уравнениях:

$$y(i)_{\Sigma} = f(x_1; x_2; \dots; x_k; y(1); y(2); \dots; y(n));$$

где  $j=1,2 \dots N$  – номер элементов логической схемы;

$y(j)$  – значение выходных сигналов  $j$  – го элемента в момент времени  $t$ .

$x_1, x_2, \dots, x_k$  - значение входных сигналов логической схемы;

$y(1), y(2), \dots, y(N)$  - значение выходных сигналов соответствующих элементов логической схемы, т.е. модель построена как совокупная модель элементов схемы.

В алгоритмах булевого моделирования предполагает, что сигнал находится в одном из устойчивых состояний (0, 1), время задержки переключения элементов равен нулю.

Моделирование производит путём последовательного вычисления значений сигналов на выходе по значениям на их входах.

Все эти алгоритмы описывают на принципе итерационного решения, используя итераций. При этом вводят два параметра моделирования:

- шаг итерации – выполнение логических и алгебраических действий;
- такт моделирования – многошаговый итерационный процесс, в результате которого из фиксируемого значения сигнала на входе получают установившиеся значения и на выходе.

Элементы в логических схемах могут быть соединены последовательно, последовательно-параллельно и соответственно будут иметь вид согласно схеме.

Например, при последовательном соединении логических элементов имеем:

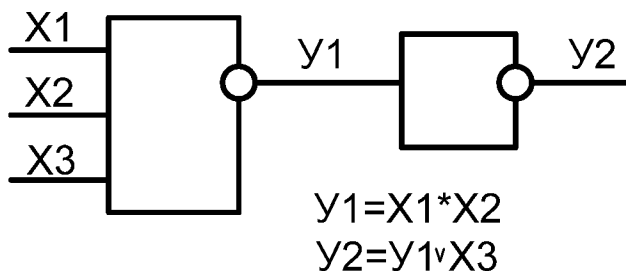


Рис. 1. Последовательное соединение логических элементов

При последовательно-параллельном соединении логических элементов имеем:

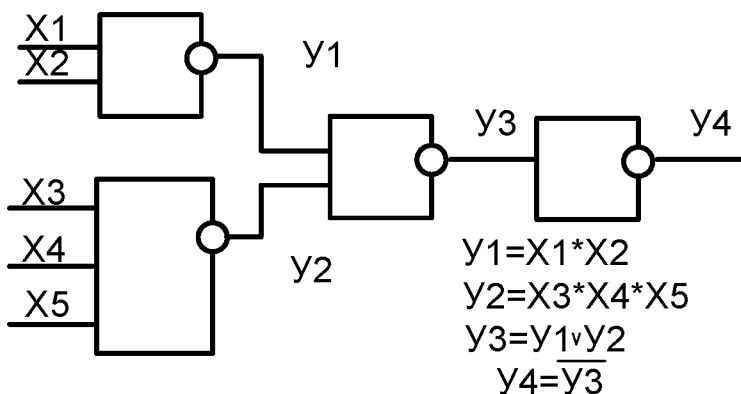


Рис.2. Последовательно-параллельное соединение логических элементов

Последовательность решений соответствует реальному прохождению сигналов, однако не всегда возможно решить задачу в соответствии с последовательностью прохождения сигнала в схеме, часто в схеме имеются обратные связи (например, триггер). В таких случаях может оказаться, что решений не существует или их будет несколько. Для таких задач существует анализ логических схем с использованием:

- методов простых итераций когда на каждом шаге итераций вычисляют новое состояние выходных сигналов (j) –ого элемента;
- методов Зейделя, когда для вычисления состояния (j) –ого элемента схемы в каждой итерации используется вычисленные для него состояния элементов;
- метода событийного моделирования, когда на каждом шаге итерации решаются уравнения только тех элементов, в которых могут произойти изменения выходных сигналов.

#### Список использованных источников

1. Автоматизация проектирования цифровых устройств/ Под ред. Э.И. Гитиса. - М.: Энергоатомиздат, 1987. 184 с.

## НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ НАШИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

Г.Ф. Краснощекова, А. Д. Краснощеков, А.В Зеленский  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В наше быстробегущее время самостоятельно приходится работать студентам не только для достижения необходимого уровня знаний по специальности, но и для достижения духовных (культурных) и материальных благ.

Баланс духовного и материального благосостояния определяет возможность достижения главной цели человека – саморазвития и творчества.

Культурные и ценности и профессиональные знания студент, в основном получает в высшем учебном заведении. Немаловажную роль при этом играет культура речи лектора, то есть риторический уровень его общения со студентами.

Вербальное общение всегда предполагает конкретного собеседника или аудиторию и способно непосредственно на них воздействовать. Это воздействие должно вызывать у студента заинтересованность предлагаемым материалом, а на практике чаще всего, особенно в настоящее время, бывает так, что лектор ведет себя пассивно, что-то очень тихо и медленно говорит сам себе, а студенту ничего не остается, как заняться другим делом.

Основными требованиями к языку лектора при публичном выступлении должны быть:

- правильность речи;
- краткость изложения;
- эмоциональность;
- богатство (лексическое, фразеологическое, интонационное);
- ясность, точность.

Хорошим всегда является краткое, яркое выступление, но надо помнить, краткость это не злоупотребление временем студента, а умение избежать ненужных повторов, то есть лектор должен уметь выразить многое в немногих словах.

Недостаточность финансов заставляет студентов искать дополнительную работу, которая отнимает много времени, а главное приводит молодого человека или девушку в мир примитивных не решаемых денежных задач.

На фоне таких проблем говорить о науке, культуре, словом о высоком, по меньшей мере, не актуально.

Перераспределение ресурсов, произошедшее после распада страны, приватизация, привели к тому, что из созидательной деятельности выбыли основные массы населения и самый способный выпускник школ из провин-

ции, будучи ребенком уже небогатых родителей, не имеет шансов продолжить обучение в престижных столичных вузах, т.к. плата за год обучения составляет 300 тысяч рублей.

В таких условиях секрет достижения духовного развития и финансовой независимости трудновыполним, но им необходимо воспользоваться сегодняшним студентам.

Предложить для этого можно следующее:

Для дальнейшей успешной работы, когда очень трудно устроиться по специальности, во время учебы нужно вводить в обучение различные формы работ по профессиональной более глубокой подготовке: форумы, тренинги, школы. Молодежь обладает огромным желанием работать, учиться новому бизнесу, делать карьеру, поэтому на форумах по специальности должны руководить сами студенты: составлять программы, читать лекции, организовывать конкурсы, а преподаватель их должен только направлять.

Для повышения качества знаний необходимо на кафедрах организовать библиотеки обучающих программ (с обилием методических материалов) с широким доступом в ее фонды студентов. Разрешение копирования этих материалов позволит решить проблему обучения, так как каждый студент будет решать задачи в свободное свое время, а не во время, поставленное в расписании, что уменьшит нагрузку аудиторий. Некоторые студенты для этого могут использовать свое рабочее место. Преподаватель будет только консультировать, а не решать у доски все задачи сам.

При таком использовании информационных библиотек процесс даст возможность повысить:

- уровень привлекательности обучения по специальным дисциплинам,
- роль СРС в усвоении знаний,
- качество усвоения материала.

Кроме того, такой подход улучшит социально-психологический климат в студенческих группах, т.к. каждый студент лично сможет выбрать необходимое для него время усвоения материала.

То есть во время учебы, когда студент изучает специальные дисциплины, он не должен быть пассивным слушателем, а должен участвовать в творческом процессе, предлагать что-то новое, учиться принимать решения, планировать и организовывать работу.

Учебный процесс должен быть многогранным и интересным, а обеспечить такой подход должен деканат и кафедры.

# РАЗРАБОТКА И ИСЛЕДОВАНИЕ ДЕТЕКТОРОВ КВАНТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР С ТУНЕЛЬНЫМ ПЕРЕХОДОМ

Г. В. Якопов

Таганрогский государственный радиотехнический университет, г. Таганрог

В данной работе приведены экспериментальные результаты исследования элементов на основе сверхпроводниковых туннельных переходов (СТП).

При температуре 4,2К измерены основные параметры, характеризующие СТП, такие как: критический ток  $I_c$ ; сопротивление нормального туннелирования  $R_N$ ; подщелевое сопротивление  $R_j$ ; напряжение, характеризующее энергетические щели сверхпроводниковых электродов

$$V_M = \Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = I_c \cdot R_j ;$$

качество диэлектрического слоя тонкопленочного перехода, которое характеризует величина  $K=R_j/R_N$  - отношение сопротивлений одночастичного туннелирования при напряжениях, ниже и выше напряжения сверхпроводящей щели на реальной вольтамперной характеристике (ВАХ).

Для СТП Nb/AL<sub>0</sub>x-Al/Nb хорошего качества -  $R_j$  принято измерять при 2 мВ, а  $R_N$  - при 4 мВ (рис. 1).

Непосредственное измерение вольтамперных характеристик джозефсоновского перехода осуществлялось четырехзондовым методом в жидком гелии с помощью специально разработанного и изготовленного стенда, включающего: криостат, зондовую технику (Рис.2), необходимую электронику, программное обеспечение.

Структурная схема эксперимента приведена на рис. 3. Прямоугольные импульсы частотой 1 Гц с генератора подаются на светодиод. Модулированное таким образом излучение светодиода мощностью 100 мВт через аттенюатор и оптическое волокно попадает на СТП. СТП и СКВИД находятся в гелиевом криостате при температуре 4,2 К. Импульсы тока отклика с СТП величиной порядка 10 нА поступают на СКВИД. Блок электроники производит одновременную регистрацию выходного сигнала со СКВИДа и сигнала генератора. В течение двух минут производится накопление этих сигналов посредством АЦП на компьютере в виде файлов.

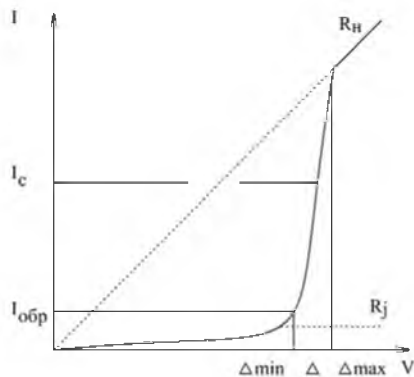


Рис.1. Типичная вольтамперная характеристика джозефсоновского перехода

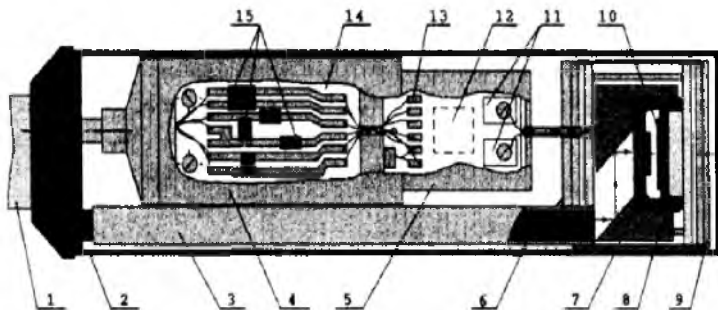


Рис.2. Головка криозонда: 1-несущая труба, 2-измерительная головка, 3,4,5,9-сверхпроводящие экраны, 6-оптоволокну, 7-зеркало, 8-корпус сверхпроводящей катушки, 10-СТП, 11-токовые терминалы СКВИДА, 12-СКВИД, 13-контактные площадки, 14-плата фильтров, 15-элементы фильтров

Ток в контакт задавался через ограничивающее и шунтирующее сопротивления, которые можно выбирать с помощью коммутаторов. Напряжения и ток усиливались с помощью дифференциальных усилителей с низким уровнем шума и малым дрейфом (TVL 2442CD) для того, чтобы уменьшить влияние внешнего оборудования на исследуемый контакт. Напряжение на контакте постоянно подавалось на х-вход осциллографа. На его у-вход подавалось напряжение, снятое с ограничивающего сопротивле-



ния, а также опорное напряжение, которое можно вручную изменять и наблюдать независимо. Достигнуты следующие параметры:  $R_L/R_N=13$ ,  $V_m=60$  мВ.



Рис. 3. Схема эксперимента по калибровке

Для калибровки предлагается использовать светодиод с излучением в красной области спектра с минимальной энергией фотонов  $E_0 = 1,65$  eV. В таком случае демонстрация возможностей применима ко всему видимому диапазону. С помощью светодиода можно получить излучение мощностью  $P_{\text{юл}} = 0,35$  Вт. Эта мощность может быть уменьшена до 35 мкВт. Принимая во внимание инерционность светодиода, может быть использована только низкочастотная модуляция (около 1 Гц). Для простоты используем прямоугольные импульсы длительностью 0,5 с. В результате получим следующее значение энергии импульса:

$$E_{\text{изл}} = P_{\text{изл}} \cdot t = 0,175 \text{ J} = 10^{14} \text{ eV} \quad (1)$$

при числе фотонов

$$N_{\phi} = E_{\text{изл}} / E_0 = 6 \cdot 10^{13}. \quad (2)$$

Отклик СТП на основе Nb может быть вычислен через поток фотонов

$$N_{\phi} = P_{\text{изл}} / E_0 = 2 \cdot 10^{14} \text{ фотон/с}. \quad (3)$$

Так как энергетическая щель Nb  $\Delta_{\text{nb}} = 1,5$  meV, идеальная квантовая эффективность по отношению к квазичастицам (qp) для красного света равна:

$$N_0 = E_0 / 1,7 \Delta_{\text{Nb}}, \quad (4)$$

около 1000 qps/фотон. Принимая во внимание время жизни квазичастиц, которое составляет несколько наносекунд, реальная квантовая эффективность (20 % - 70 % от идеальной) может быть оценена как  $I_p = 10^{-8}$  А.

В этой связи необходимо принять во внимание приемлемый уровень токов во входной катушке СКВИД-магнетометра, работающего в качестве пикоамперметра. Значение тока может быть вычислено из соотношения:

$$\Phi = M I \quad (5)$$

для СКВИД-магнетометра. Экспериментальное значение  $M = 0,2 \mu\text{A} / \Phi_0$

$$\Phi_0 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ Wb}, \quad (6)$$

где  $W_b$  - квант магнитного потока. Калибровка нашего СКВИД магнетометра производится с помощью пульсаций магнитного поля амплитудой  $B_{cal} = 100$  нТ при котором входящий магнитный поток

$$\Phi_{cal} = B_{cal} S = 6B_0 m\Phi, \quad (7)$$

для стандартной входной катушки СКВИДа диаметром 2 см. В результате получаем оценку для амплитуды калибровочного тока СКВИДа

$$I_{CAL} = \Phi_{CAL} / M = 1 \text{ nA}. \quad (8)$$

Принимая во внимание, что разрешение по магнитному полю в единицах частоты

$$\Phi_{noise} = 6 \mu \Phi_0 / \sqrt{\text{Hz}}. \quad (9)$$

и что типичный диапазон частот около 100 Hz, мы можем получить разрешение по полю  $5\Phi = 60 \mu \Phi_0$ . Рассчитанное из этого разрешения по полю соответствующее разрешение по току для пикоамперметра, основанного на СКВИДе,

$$I_{noise} = 1 \text{ pA} / \sqrt{\text{Hz}} \text{ and } \delta I = 10 \text{ pA}. \quad (10)$$

Таким образом, для хорошего отношения сигнал-шум по отношению к внутренним шумам СКВИДа ( $>10$ ) при калибровке выходной ток СТП должен быть не менее чем  $I_{min} = 100$  pA, а предпочтительным диапазоном токов является  $I_{cal}$  от  $I_{min}$  (100 pA) до  $I_{max}$  (10 nA). Максимальный ток ограничен динамическим диапазоном СКВИДа (а также используемым АЦП). Сравнивая  $I_r$  и  $I_{min}$ , мы видим, что необходимая мощность излучения, падающего на СТП, должна составлять 1-100  $\mu$  W. На практике такой уровень излучения, может быть, достигнут ослаблением мощности излучения от светодиода. Таким образом, с помощью СКВИДа можно детектировать выходной сигнал от СТП при использовании облучения мощностью 35  $\mu$  W.

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПИРОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ТОПЛИВНОГО ГАЗА**

В. А. Глушков, П. А. Ушаков

Ижевский государственный технический университет, г. Ижевск.

В данной работе проводится разработка модели системы автоматического управления пиролизной установкой, исследование ее параметров и разработка методики синтеза системы управления.

Анализ показателя эффективности:

$$P = \frac{dV(t)}{dQ(t)},$$

показывает, что его среднее значение за весь период будет, очевидно, гораздо ниже, чем его значение на участке установившегося режима. Поэтому, минимизация затрат энергии при выработке максимально возможного для данной массы сырья количества газа при увеличении среднего значения показателя выбрана в качестве задачи управления установкой пиролиза.

Поскольку затраты энергии в разгонной области являются неизбежными, то остается искать возможности повышения эффективности за счет правильной стратегии завершения процесса.

Таким образом, решение задачи управления установкой пиролиза сформулировано как формирование такой стратегии завершения процесса, при которой максимизируется выработка газа и минимизируются энергетические затраты.

Исходя из того, что на участке завершения процесса при постоянстве затрат энергии выработка газа уменьшается, найден закон управления мощностью нагревательного элемента в виде

$$P(t) = \frac{1}{Pq_{\max}} \cdot \frac{dV(t)}{dt}. \quad (1)$$

Проведена оценка применимости разработанных математических моделей установки к выбранной стратегии управления. На основе этого произведена коррекция исходной модели, заключающаяся в том, что в модель добавлено звено в виде порогового ограничителя, который в момент снижения мощности нагревателя ниже порогового уровня, ограничивает уровень выработки газа постоянным значением. Такая модель более адекватно отражает реальный процесс в окрестности области насыщения.

Сформулирован общий алгоритм управления пиролизной установкой, на основании которого создана модель системы управления, изображенная на рис. 1.

Регулятор содержит следующие звенья: звено дифференцирования:

- звено масштабирования (умножения на постоянный коэффициент  $1/Pq_{\max}$ );

- звено сравнения  $V(t)$  с  $V_{\text{пор}}$ ;

- звено управления мощностью, прикладываемой к нагревателю;

- элемент памяти для запоминания  $Pq_{\max}$  в момент времени  $t_{\text{кр}}$ .

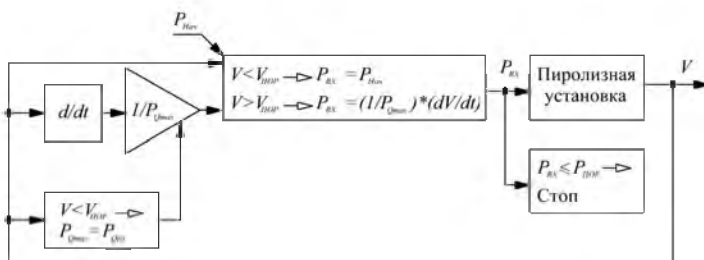


Рис. 1. Модель системы управления, реализующей заданный закон управления

Проведенное моделирование показало, что характер процесса соответствует характеру экспериментальных данных, а также, что использование системы управления дает выигрыш в затраченной на процесс энергии.

Исследовано влияние  $V_{\text{пор}}$  на эффективность установки пиролиза, которое выявило, что при уменьшении значения  $V_{\text{пор}}$  происходит увеличение затрачиваемой энергии, поскольку при меньших значениях  $V_{\text{пор}}$  присваиваются меньшие значения  $q_{\text{д-макс}}$ , которые и поддерживаются до конца процесса. Показано, что оптимальное значение  $V_{\text{пор}}$  в смысле количества выработанного газа и затраченной энергии равняется 0,5т.

Проведено имитационное моделирование системы управления при разбросе параметров загруженного сырья, который в модели характеризуется разбросом коэффициентов  $Tr$  и  $Td$ . Результаты моделирования показали, что задача управления решается при разбросе коэффициентов  $Tr$  от 3 до 6 мин. и  $Td$  от 1 до 8 мин., что соответствует величинам разбросов, полученных в результате экспериментов на реальной установке.

Проведено моделирование системы при случайном изменении скорости выработки газа в процессе пиролиза, что отражает нестационарный характер реального процесса, и при различных значениях  $V_{\text{пор}}$ . Результаты компьютерного моделирования представлены на рис. 2 и рис. 3. При этом коэффициент передачи звена  $K$  изменяли случайным образом по равновероятному закону около его среднего значения в диапазоне от 0,0008 до 0,002. Видно, что и в этом случае при  $V_{\text{пор}} = 0,5$  т показатель эффективности достигает своего максимального значения.

Рассмотрен вопрос устойчивости замкнутой системы управления. Показано, что система является абсолютно устойчивой на той стадии процесса, когда действует закон управления (1).

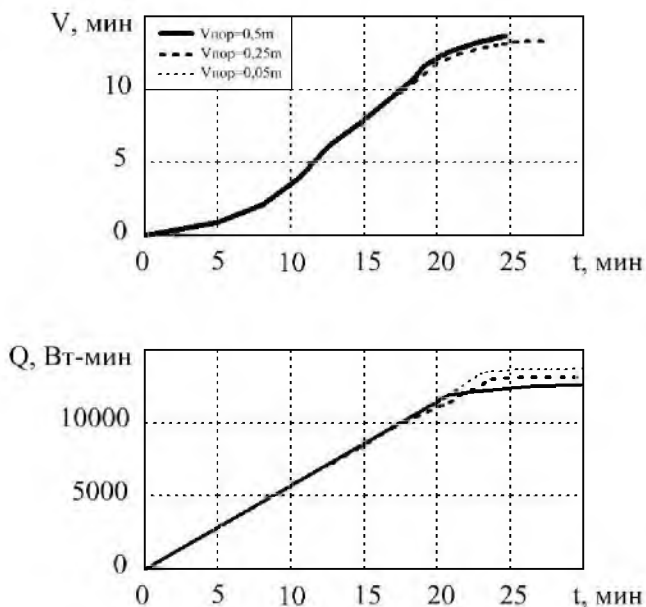


Рис. 2. Диаграммы моделирования системы управления, реализующей закон (1):  
*а* – выработка газа, *б* – затраты энергии

С помощью имитационного моделирования проведена проверка работы системы управления при изменении массы загрузки от 20 г до 1 кг.

Показано, что разработанные принципы управления и систему управления можно применять без изменений для установок различной мощности, так как операционный блок системы управления позволяет автоматически настраивать систему управления на достижение максимального КПД в пределах допустимой мощности нагревательного элемента.

Произведена оценка экономической эффективности применения регулятора, которая показала, что затраты на систему управления окупятся в течение одного года.

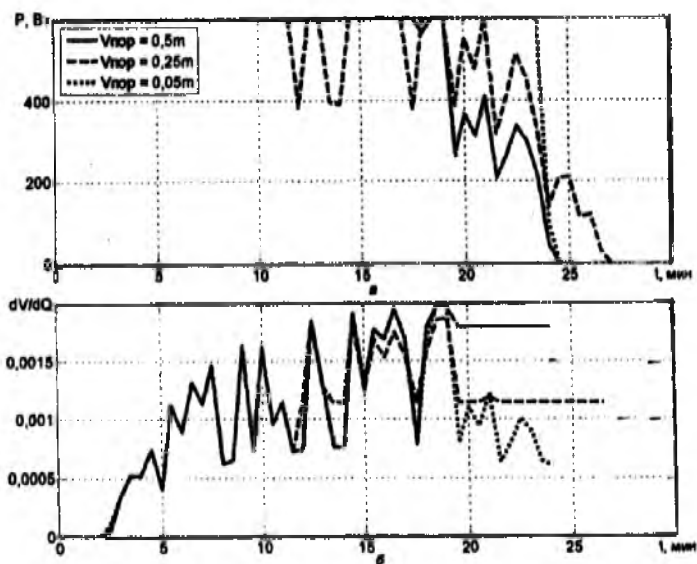


Рис. 3. Диаграммы моделирования системы управления, реализующей закон (1): а – изменение мощности, б – показатель  $Pq(t)$

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЧЕЛОВЕКА В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Д. В. Журавлев, Ю. С. Балашов

Воронежский государственный технический университет

В данной работе разработана автоматизированная база данных для создания малогабаритных автономных приборов регистрации медико-биологических показателей. Разработка автоматизированной базы данных ПРМБП была направлена на упрощение процесса проектирования и более жесткую стандартизацию ПРМБП.

В зависимости от видов медицинского мониторинга, проведена классификация приборов по функциональному назначению. Проведена классификация функциональных блоков многократного использования по иерархическим признакам. Рассмотрены варианты построения функциональных блоков многократного использования. Выделены схемы, обладающие

необходимыми характеристиками для создания таких блоков. Сформирована база данных ряда модификаций функциональных блоков многократного использования.

Для удобного представления алгоритма работы базы данных введена кодификация. Каждый уровень алгоритма имеет индивидуальное количество вариантов исполнения, обозначаемых определённым подкодом (одна цифра). Полученный после прохождения алгоритма код прибора (12 цифр) состоит из последовательного набора подкодов каждого уровня (табл. 1).

Таблица 1

Уровень	Наименование
1	Вид мониторинга
2	Класс прибора
3	Число каналов прибора
4	БУ (блок усиления)
5	БФ (блок фильтрации)
6	БАЦП (блок аналого-цифрового преобразования)
7	БРА (блок регистрации и анализа)
8	БП (блок памяти)
9	БПИ (блок предоставления информации)
10	БООПК (блок обмена с ПК)
11	БООНУ (блок обмена с нестандартными устройствами)
12	БР (блок радиоканала)

Проведена классификация видов мониторинга (уровень 1), приборов по функциональному назначению (уровень 2), блоков ПРМБП (уровни 4-12).

Задача автоматизированной базы данных для создания малогабаритных автономных ПРМБП заключается в анализе ряда модификаций функциональных блоков многократного использования с целью постепенного формирования конфигурации ПРМБП заданного класса.

База данных позволяет создавать ПРМБП выделенных классов автоматизированным способом в значительно меньшие сроки, чем стандартные, ранее известные алгоритмы и методы. Это достигается за счет однозначной (проведенной заранее) классификации ПРМБП и построения функциональных блоков по сформированным, отработанным схемным решениям с известными характеристиками. Алгоритм базы данных был изложен на языке высокого уровня (Borland Delphi 7.0) для применения в ЭВМ. Общая блок-схема алгоритма автоматизированной базы данных представлена на рис. 1.

На начальном этапе работы алгоритма базы данных осуществляется загрузка базы данных отработанными на конкретном предприятии схемными решениями функциональных блоков многократного использования. В нашем случае база данных заполнена функциональными блоками многократного использования, разработанными на кафедре РЭС при ВГТУ. В базе дан-

ных хранятся входные, выходные параметры, схемные и конструкторско-технологические решения в виде разработанных топологических исполнений: фильтров, усилителей, АЦП, микропроцессоров, узлов памяти, узлов индикации, интерфейсов обмена, узлов дистанционной передачи данных и др. Эта база данных всегда хранится в ЭВМ и пополняется по мере развития производства. Для получения ПРМБП инженер-разработчик вводит лишь основные исходные данные.

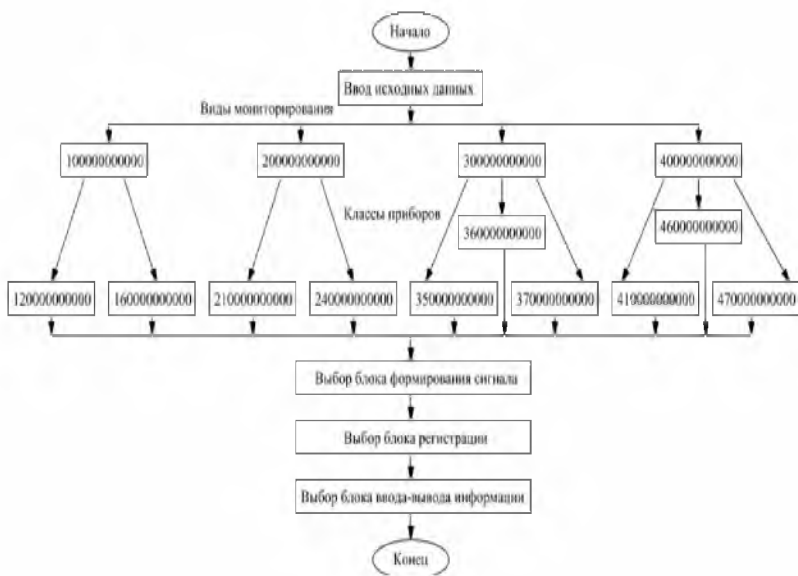


Рис.1. Общая блок-схема алгоритма работы автоматизированной базы данных

Алгоритм работы разработанной базы данных изложен на языке высокого уровня Borland Delphi 7.0 и зарегистрирован в Федеральном государственном унитарном предприятии "Всероссийский научно-технический информационный центр" (Информационный бюллетень № 8 от 2005г.)

Главным результатом работы стала разработанная автоматизированная база данных для создания автономных приборов регистрации медико-биологических показателей, основанная на переборе и анализе ряда модифи-



каций функциональных блоков многократного использования, постепенно приближающем характеристики создаваемого устройства к заданным.

## СВОЙСТВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ГЕТЕРОСТРУКТУРАМ 3С-SiC/Si

А. А. Колесникова

Самарский государственный университет, г. Самара

В данной работе рассмотрены зависимость параметров омических контактов к гетероструктурам 3С-n-SiC/p-Si от различных условий, приведен расчетно-статистический метод измерения сопротивления омических контактов, исследована стабильность параметров омических контактов.

Исследование зависимости удельного переходного сопротивления контактов металл-SiC от температуры отжига в течение 10 минут показало наличие минимума при температуре 1000°C. Вольт-амперная характеристика становится линейной только после термообработки при температурах выше 750°C. Наименьшее контактное сопротивление получено для систем Ni-n-SiC ( $\rho_c=7\cdot 10^{-4}\text{ Ом}\cdot\text{см}$ ).

После термообработки при температурах выше 750°C наблюдается уменьшение контактного сопротивления. Из определенного значения  $\rho_c$  и зависимости  $\rho_c(I)$  следует также, что без термообработки рассмотренные контакты являются выпрямляющими, а после термообработки они становятся омическими и удовлетворяют требованиям, предъявляемым им в технологии полупроводников.

Сразу после напыления высота барьера системы (Si-Ni) - nSiC составляет  $\Phi_b=1,12\pm 0,002$  эВ. При увеличении температуры термообработки контактной системы до 500°C высота барьера возрастает на 0,04эВ и достигает максимума  $\Phi_b=1,16\pm 0,002$  эВ (рис. 1). Высота барьера системы металл - SiC слабо зависит от работы выхода электрона из металла и, в основном, определяется плотностью и энергетическим расположением поверхностных состояний в карбиде кремния. Было установлено, что высота барьера систем Ni-nSiC и (Si-Ni) - nSiC после длительной выдержки при температуре 600°C становится одинаковой.

При дальнейшем повышении температуры термообработки высота барьера резко снижается, и контакт приобретает омический характер. Соответственно этому изменяется и переходное сопротивление контакта (рис.2). ВАХ становится линейной только после термообработки при температуре выше 950°C, а уменьшение контактного сопротивления при этом обусловлено изменением характера контакта. Из выпрямляющего он преобразуется

в омический.

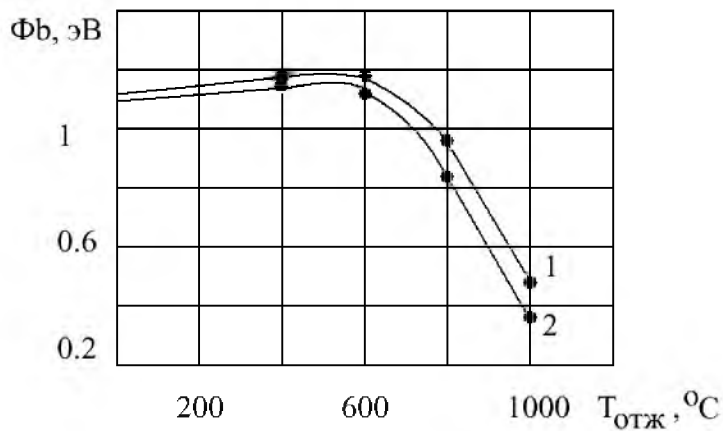


Рис. 1. Зависимость высоты барьера контакта Ni-n-SiC (1) и (Si-Ni)-n-SiC (2) от температуры термообработки

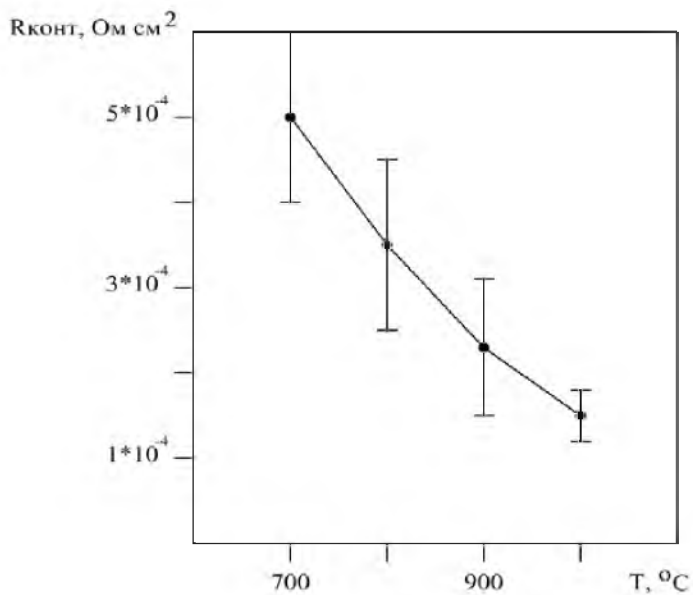


Рис. 2. Зависимость удельного переходного сопротивления контакта (Si-Ni)-n-SiC/Si от температуры термообработки

Экспериментальные исследования морфологии поверхности Ni контакта до и после отжига показали, что в структуре контактной системы Si-Ni имеется окисный слой на поверхности контакта на границе с никелем, что объясняется наличием собственных окислов на карбиде кремния. Предполагается, что при дальнейшей термообработке контактной системы в инертной атмосфере происходит восстановление поверхности карбида кремния, что приводит к уменьшению содержания и его однородному распределению по контакту при повышении температуры термообработки.

Исследованы температурные вольтамперные характеристики омического контакта к исследуемым гетероструктурам. Экспериментально установлено, что ВАХ контакта (Ni-Si)-n-SiC/p-Si имеет линейный вид даже при температуре 550°C (рис. 3). Наблюдается небольшое увеличение удельного переходного сопротивления с увеличением температуры (рис. 4). Такое поведение хорошо согласуется с литературными данными и объясняется увеличением рассеянных носителей при высокой температуре.

На основе расчетно-статистического метода измерения сопротивления омических контактов была составлена расчетная программа и рассчитаны  $\rho$  и  $\rho_c$  омических контактов Ni, (Ni-Si) к структурам 3C-n-SiC/p-Si. Результаты приведены в табл. 1.

Из таблицы 1 видно, что теоретически рассчитанные и экспериментально полученные значения удельного переходного сопротивления хорошо согласуются.

Исследования термостойкости контактов показали, что контактная система (Si-Ni)-n-SiC/p-Si является термостабильной. Эти исследования показывают, что стабильность контактного сопротивления является следствием стабильности структуры и химического состава контакта (Si-Ni)-n-SiC/p-Si после длительной выдержки (в течении нескольких часов) его при температуре 400°C. Значительного старения контактных систем не обнаружено, поэтому вполне можно считать эти контакты термостабильными.

Таблица 1

п/п	омический контакт	эксперим. знач. $\rho_c$ , Ом·см <sup>2</sup> после отжига	расчетные значения	
			$\rho$ , Ом·см	$\rho_c$ , Ом·см
3C-n-SiC/p-Si	Ni	$4,3 \cdot 10^{-3}$	$3,75 \text{ кг}^{-1}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$
	Ni-Si	$7,5 \cdot 10^{-4}$	$2,86 \cdot 10^{-1}$	$1,06 \cdot 10^{-3}$

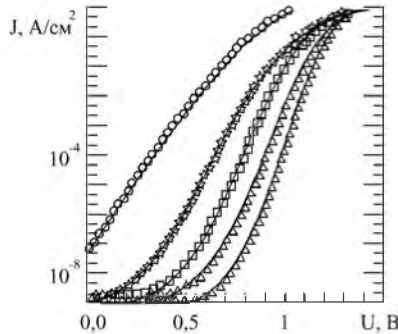


Рис.3. ВАХ контакта (Ni-Si)-n SiC/p-Si в интервале температур от комнатной до 550°C

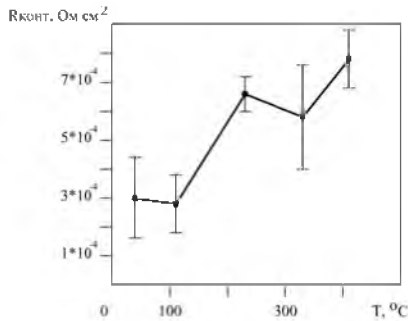


Рис. 4. Зависимость удельного переходного сопротивления контакта (Ni-Si) от температуры окружающей среды

## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПЛОСКОЙ АНТЕННЫ С ДВУМЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯМИ

М.Г. Вахитов

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Представлены образцы резонаторной (рис. 1) и плоской (рис. 2) антенной решётки, волноводно-полоскового турникетного соединения (рис. 3). На рис. 4 представлены расчетные и экспериментальные ДН резонаторной антенны. Из сравнения расчетных и экспериментальных данных можно заключить, что теоретические и экспериментальные результаты соответ-

вуют друг другу. Это говорит о достоверности математического расчета параметров резонаторной антенны, результаты которого соответствуют экспериментальным исследованиям.

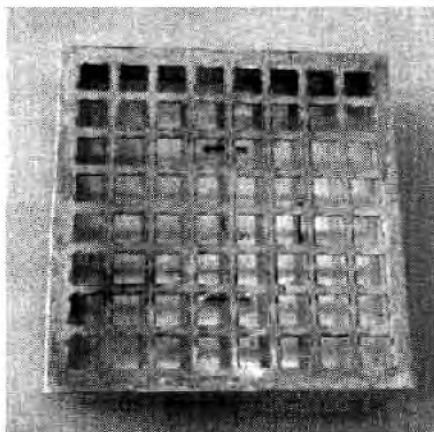


Рис.1. Экспериментальный образец РА

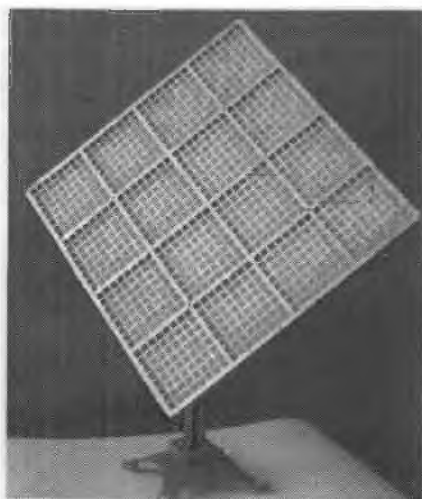


Рис.2. Плоская антенна

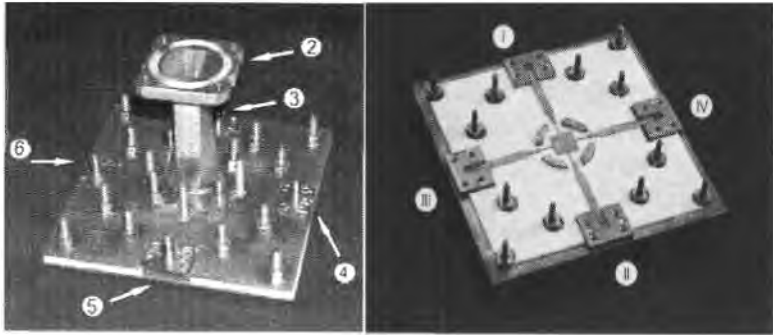


Рис. 3. Макет ВПТС

Показано, что электромагнитная волна, распространяющаяся в линии передачи с плавным поворотом, опережает по фазе электромагнитную волну, распространяющуюся в прямолинейной линии на величину  $\Delta\phi$ . Из анализа распределения плотности тока на полоске установлено, что электромагнитная волна в линии с изгибом распространяется не по средней линии полоски, а смещается в сторону дуги меньшего радиуса. На рис. 5 приведена зависимость разности фаз  $\Delta\phi$  от величины внутреннего радиуса поворота  $R_{min}$  линии передачи.

Для волноводно-полоскового соединения приведены результаты исследования в диапазоне частот зависимости КСВ от размера полоскового резонатора, диаметра согласующей пластины  $D$  (рис. 6), наличия или отсутствия сегментов. Определены величины развязки между ортогональными направлениями соединения, параметры делителя на 2 направления. Для определения влияния согласующих сегментов на передачу электромагнитной энергии от волновода на полосковую линию были изловлены два макета ВПТС: Макет №1 - сегменты установлены в макет устройства; Макет №2 - сегменты отсутствуют в макете.

На макетах были проведены эксперименты по измерению КСВ и относительной величины мощности в плечах I-IV при подаче единичной мощности на вход круглого волновода. Результаты экспериментов приведены (рис. 7, 8).

Сделан вывод о том, что наличие согласующих сегментов позволяет избежать «просачивания» энергии в область между верхним и нижним экранами устройства.

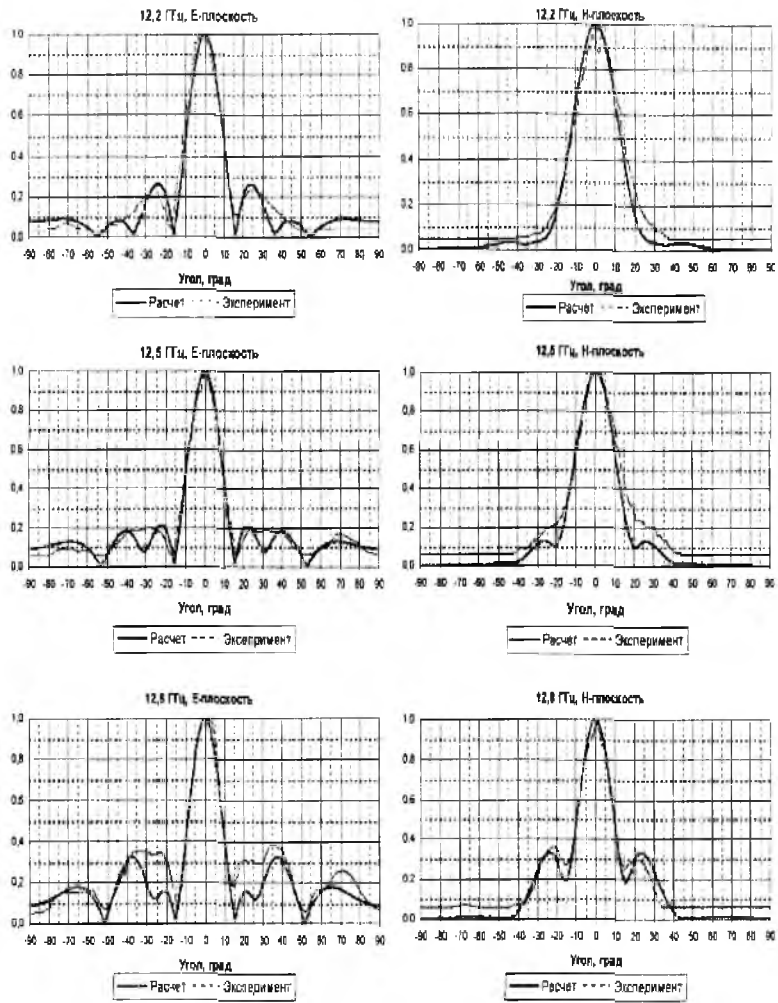


Рис. 4. Расчетные и экспериментальные диаграммы направленности резонаторной антенны в Е и Н плоскостях в диапазоне 12,2 - 12,8 ГГц

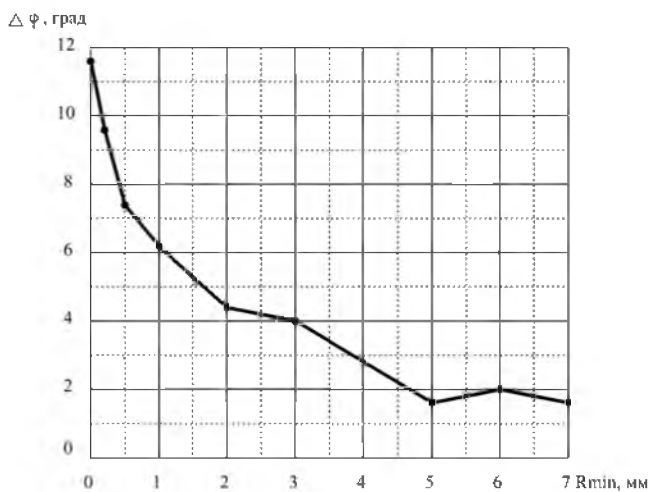


Рис. 5. Зависимость разности фаз  $\Delta\varphi$  от величины радиуса поворота  $R_{\min}$  линии передачи

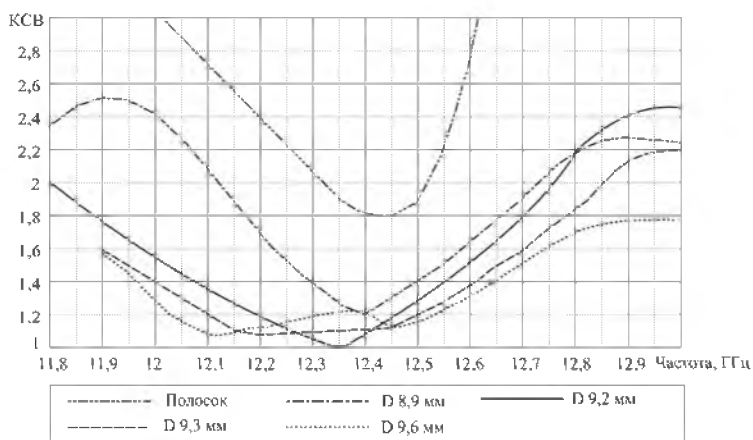


Рис. 6. Влияние диаметра согласующей пластины  $D$  на согласование ВПТС



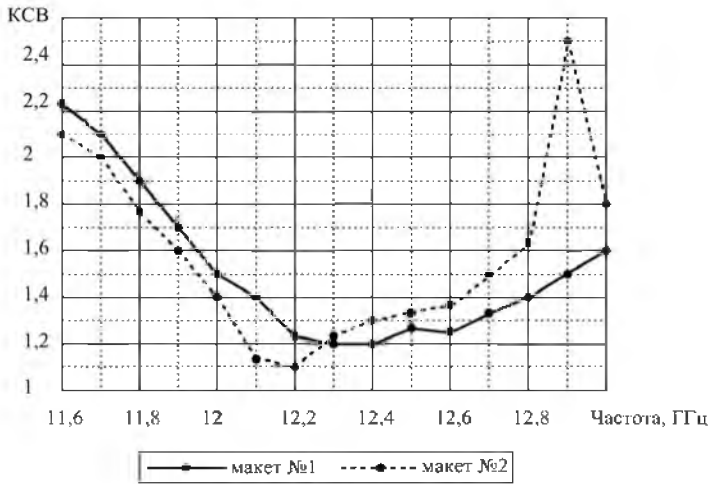


Рис. 7. Зависимость КСВ на входе круглого волновода от частоты, макеты №1, №2

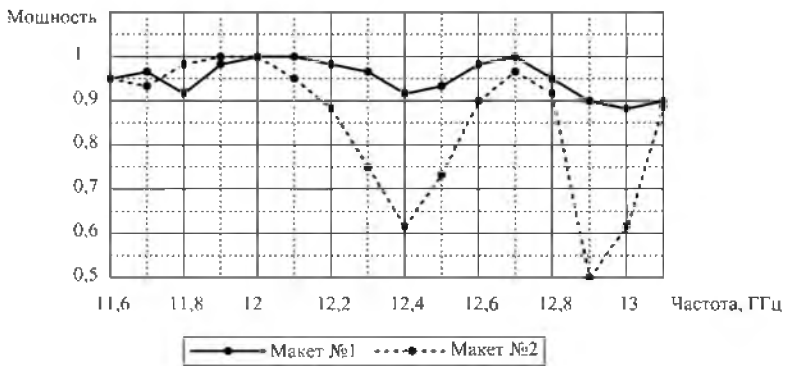


Рис. 8. Зависимость уровня суммарной мощности в плечах I-IV

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИБКИХ ПРЕЦИЗИОННЫХ ШЛЕЙФОВ НА ПОЛИИМИДНОЙ ПЛЁНКЕ

С.Н. Семенин

Московский институт электронной техники – технический университет,  
г. Зеленоград

На основе выполненных исследований представлены результаты разработки промышленной технологии изготовления гибких прецизионных полиамидных шлейфов для высокоплотного монтажа приборов электронной техники. Рассмотрены вопросы алгоритма построения технологического маршрута, обеспечения устойчивости шлейфов к многократным перегибам, тестового контроля качества технологических процессов. Приведены эксплуатационные показатели, результаты испытаний и использования.

Выполненные исследования в работе позволили технически обоснованно разработать новую промышленную технологию изготовления гибких полиамидных шлейфов для высокоплотного монтажа электронных приборов (рис.1) с учетом основных положений: обеспечение высокой плотности монтажных выводов, снижение трудоемкости, обеспечение необходимой надежности электрокоммутации и повышенной стойкости к перегибам.

Исходя из теоретических выводов работы, что для повышения стойкости шлейфов к многократным перегибам (особенно для ширины проводника 100 мкм и менее и радиусе перегиба до 1 мм) требуется защита, разработана технология защиты полиамидным лаком (АД-9103), позволяющая значительно увеличить стойкость гибких шлейфов к перегибам.

На основе регрессионного анализа получена математическая модель стойкости полиамидных шлейфов к многократным перегибам от соотношения толщин конструкционных материалов шлейфа:

$$Y=1,71+1,13x_1+0,216x_2-0,194x_3-1,38x_1^2+0,62x_2^2+0,696x_4^2-0,292x_1x_2+0,233x_1x_3+0,33x_1x_4-0,24x_2x_3-0,39x_2x_4-0,234x_3x_4,$$

где  $x_1=(d_{л1}-d_{л0})/d_{л0}$ ;  $x_2=(d_{л2}-d_{л0})/d_{л0}$ ;  $x_3=(d_{cu}-d_{cu0})/d_{cu0}$ ;  $x_4=(d_{sn}-d_{sn0})/d_{sn0}$  - исходные данные в нормированной форме и выражены посредством переменных величин:  $d_{л1}$  и  $d_{л2}$  - толщины защитного покрытия лака на прямой и обратной сторонах платы шлейфа соответственно,  $d_{cu}$  - толщина слоя меди проводника,  $d_{sn}$  - толщина безсвинцового покрытия (Sn-Bi) на проводнике, облегчающего растекание припоя и обеспечивающего защиту меди от окисления. При этом  $d_{л0}=30$ мкм,  $d_{cu0}=10$ мкм,  $d_{sn0}=3$ мкм.

Определено оптимальное сочетание толщин защитного покрытия и металлизации: толщина лака на лицевой стороне - 40 мкм; толщина лака на обратной стороне - 25 мкм; толщина слоя меди - 15-20 мкм; толщина защитного покрытия (Sn-Bi) - 3-5 мкм.

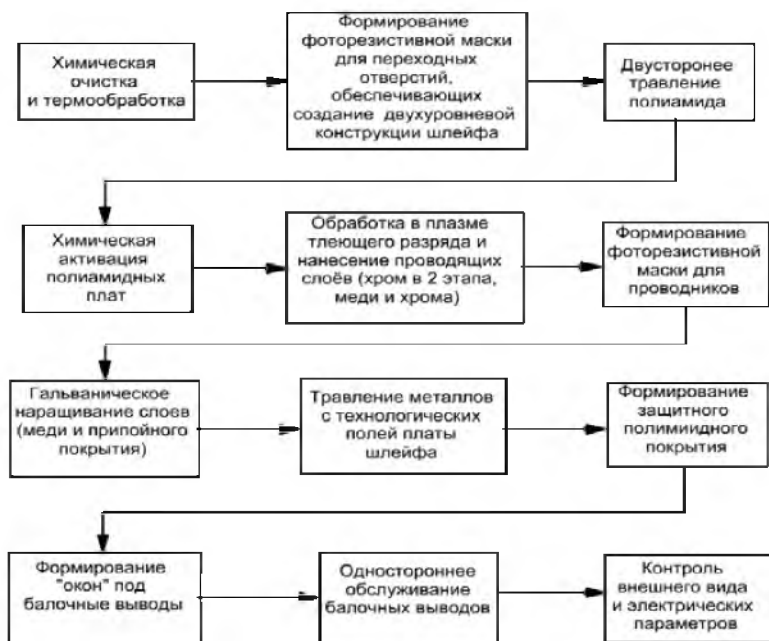
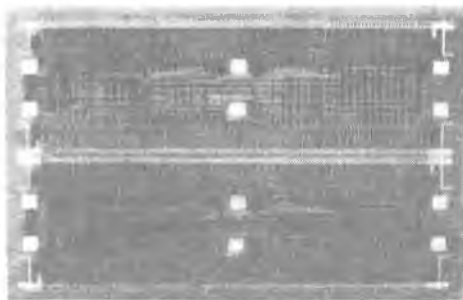


Рис.1. Структурная схема разработанного технологического процесса изготовления гибких прецизионных шлейфов на полиимидной пленке для высокоплотного монтажа приборов электронной техники

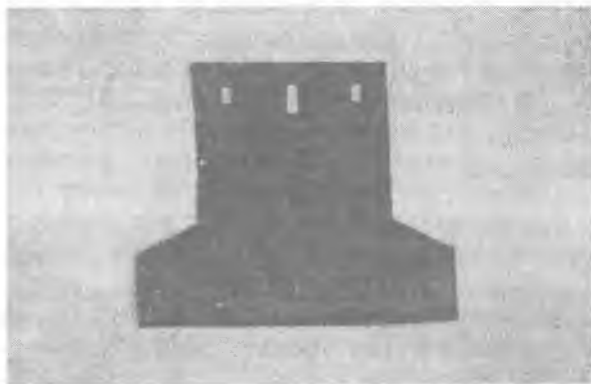
Для получения информации о качестве проведения технологических процессов и активного воздействия на техпроцесс особенно в условиях широкономенклатурного производства с целью поддержания установленного процента выхода годных использованы тестовые структуры. Тестовые структуры, являясь основой статистических методов контроля применительно к двусторонним полиимидным шлейфам, изготавливались в работе в едином технологическом цикле с рабочими проводниками и содержали все конструктивные элементы (балки) и их сочетания (укрепляющие «заклепки»), что и реальная плата. Эффективность тестового и межоперационного контроля подтверждена устойчивостью общего процента выхода годных в условиях промышленного производства для технологии изготовления и высокоплотного монтажа гибких полиимидных шлейфов. При оперативном проведении контроля и технологических коррекций, необходимость которых выявлена при использовании тестовых структур, годовые колебания

общего процента выхода годных в производстве ОАО «Завод «Компонент» на протяжении 2 лет составили не более 0,3%.

Показано, что разработанные гибкие полиимидные шлейфы, характеризуются высокими техническими эксплуатационными параметрами. Верхние границы интенсивностей отказов, определенные на уровне достоверности 0,9 составляют: для паяных монтажных микросоединений балок -  $1,6 * 10^{-11}$  час<sup>-1</sup>, при этом удельная погонная паразитная емкость проводников не более 0,3 пФ/см, удельное погонное сопротивление проводников - не более 0,01 Ом /см, задержка распространения сигнала - не более 0,07 нс/см, минимальный шаг выводов - 0,15 мм, при ширине монтажной зоны шлейфа до 120 мм.



а) базовая конструкция двустороннего шлейфа с шагом балочных выводов 0,25 мм с односторонним облуживанием



б) базовая экранированная конструкция многовыводного (128 дорожечного) шлейфа с шириной выводов 100 мкм

Рис.2. Прецизионные гибкие шлейфы на полиимидной пленке, изготавливаемые по разработанной технологии, для высокоплотного монтажа приборов электронной техники

Положительные результаты квалификационных испытаний подтвердили правильность конструктивно-технологических решений, установленных на основе исследований работы, и готовность производства к промышленному выпуску широкоформатных гибких полиимидных шлейфов (рис.2) для высокоплотного монтажа с присвоением технической документации литеры «О<sub>1</sub>».

Использование гибких полиимидных шлейфов при создании электронных приборов позволило сократить массу и габариты в 1,5 - 2 раза по сравнению с аналогичными приборами, изготавливаемыми на основе традиционных гибких печатных шлейфов.

## **СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ**

Л.Н. Коломиец

Московский государственный университет леса, г. Мытищи

Разработана структурная схема дифференциального волоконно-оптического датчика давления отражательного типа, приведенная на рис. 1.

В состав датчика входит дифференциальный волоконно-оптический преобразователь давления и согласующее устройство. В волоконно-оптический преобразователь давления входят волоконно-оптический кабель и чувствительный элемент - мембрана. Волоконно-оптический преобразователь давления условно разделен на волоконно-оптический преобразователь линейного перемещения (первый измерительный канал) и углового перемещения (второй измерительный канал).

Согласующее устройство (СУ) предназначено для преобразования электрического сигнала в оптический и оптического - в электрический и состоит из источника излучения ИИ и двух приемников излучения ПИ1 и ПИ2 первого и второго измерительных каналов соответственно. В волоконно-оптическом датчике давления с оптическим выходом согласующее устройство располагается в корпусе блока преобразования информации (БПИ), а в волоконно-оптическом датчике давления с электрическим выходом - в электрическом разъеме датчика.

БПИ служит для питания элементов СУ и преобразования сигнала с выхода СУ в стандартный электрический сигнал (например, 0...6 В) и со-

стоит из сумматора  $\Sigma$ , делителя  $D$  и вычитающего устройства ВУ.

Принцип действия дифференциального волоконно-оптического датчика давления отражательного типа следующий. Световые потоки  $\Phi_{01}$  и  $\Phi_{02}$  от источника излучения по подводящим оптическим волокнам ПОВ1 и ПОВ2 направляются к отражающей поверхности центральной и периферийной частей мембраны соответственно. Под действием давления  $P$  мембрана прогибается в центре на величину  $W$ . При этом в центральной части изменяется расстояние  $X$ , а в периферийной - угол  $\xi$  между оптическими волокнами и мембраной, что ведет к изменению интенсивности отраженных от зеркальной поверхности мембраны световых потоков  $\Phi_1(X)=\Phi_1(P)$  и  $\Phi_2(\xi)=\Phi_2(P)$  соответственно.

$$U = \frac{J_1(P) - J_2(P)}{J_1(P) + J_2(P)}.$$

По ООВ1 и ООВ2 световые потоки  $\Phi_{01}(X)$  и  $\Phi_{02}(\xi)$  поступают на приемники излучения ПИ1 и ПИ2 первого и второго измерительных каналов соответственно. На ПИ1 формируется сигнал  $J_1(P)$ , на ПИ2 - сигнал  $J_2(P)$ . Электрические  $J_1(P)$  и  $J_2(P)$  поступают на вход БПИ, где осуществляется операция деления разности сигналов первого и второго измерительных каналов к их сумме, что позволяет компенсировать изменения мощности излучения светодиода и потери светового потока при изгибах волоконно-оптического кабеля ВОК, так как их отношение не зависит от указанных факторов.

Для подтверждения теоретических положений диссертации по определению конструктивных параметров дифференциальных волоконно-оптических датчиков давления отражательного типа, а также для определения количества и взаимного расположения оптических волокон в торцах волоконно-оптического кабеля была разработана измерительная установка со специально разработанным оптическим тестером.

Проведены экспериментальные исследования макетных образцов дифференциальных ВОДД отражательного типа, изготовленных по разработанной конструкторской документации.

Снимались значения оптической мощности при изменении прогиба мембраны при использовании разных конструкций волоконно-оптического кабеля и мембран с разными геометрическими размерами. По полученным результатам были построены графические зависимости  $W_1=f(X)$  и  $W_2=f(X)$  первого и второго измерительных каналов.

Результаты экспериментальных исследований разработанного макетного образца дифференциального волоконно-оптического датчика давления отражательного типа показали, что:

-оптическая мощность  $W_1$  уменьшается при увеличении прогиба

центра мембраны, а оптическая мощность  $W_2$  наоборот - увеличивается.  
 -изменение расстояния  $x_0$  между ВОК и мембраной на  $0,1...0,2$  мм ведет к изменению чувствительности преобразования в 2 и более раза;  
 -перемещая центр мембраны вдоль оси X на  $0,5d_c$  можно добиться существенной (до 30 %) глубины модуляции оптического сигнала;  
 -целесообразно использовать волоконно-оптический кабель, в котором три подводящих оптических волокна и четыре отводящих оптических волокна, в этом случае чувствительность преобразования и глубина модуляции оптического сигнала выше.

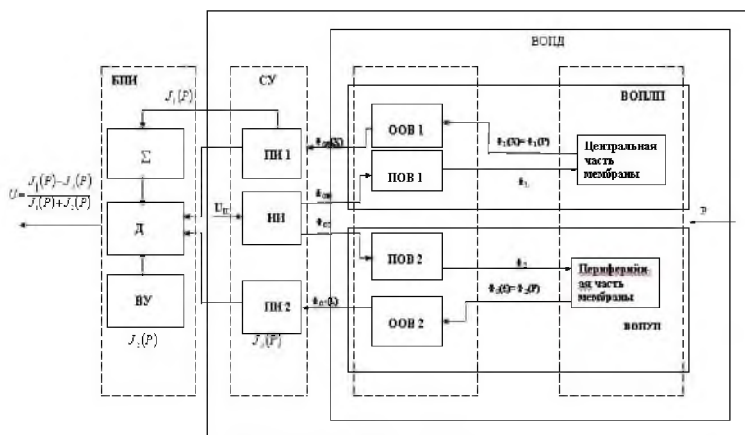


Рис.1. Структурная схема дифференциального волоконно-оптического датчика давления отражательного типа

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили теоретические положения работы

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАССЕЯНИЯ ЭНЕРГИИ В ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ КОНДЕНСАТОРАХ

А.И.Мишин

Ульяновское высшее военное инженерное училище связи, г. Ульяновск

Были проведены теоретические исследования и математическое моделирование рассеяния электрической энергии в люминесцентных пленках тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов, кинетики этих

процессов и зависимости характеристик от свойств многослойных структур и условий возбуждения электролюминесценции.

В качестве основных исходных положений разрабатываемой математической модели рассеяния электрической энергии в тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторах были использованы следующие свойства данных структур.

1. Пленки люминесцентных материалов, используемые в тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторах, являются высокоомными, поэтому рассеяние энергии в предпороговом режиме возбуждения электролюминесценции при расчетах не учитывалось.

2. Используемые в тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторах пленки диэлектрических материалов обладают высокими изолирующими свойствами, поэтому при расчетах можно было не учитывать омические потери энергии в пленках диэлектриков.

3. Исследования электронных процессов в тонкопленочных электролюминесцентных структурах показали, что кинетика изменения электрических характеристик определяется процессом поляризации в слое люминофора. Поверхность люминофора можно считать квазиизолированной, т.е. способной экранировать большую часть заряда. Перезарядка поверхностных ловушек происходит путем туннелирования электронов из граничных состояний в зону проводимости люминофора, что определяет резкую левую зависимость процесса.

4. При анализе процессов возбуждения электролюминесценции в тонкопленочных конденсаторах знакопеременным напряжением, изменяющимся по заданному закону, например, пилообразным или гармоническим, применяется модель квазистационарного самоэкранирования слоя люминофора. В этом случае скорость изменения переносимого заряда определяется не инерционностью процессов перезарядки граничных состояний и переноса электронов, а скоростью изменения внешнего напряжения. Величина рассеиваемой мощности электрического поля в этом случае определяется скоростью изменения внешнего напряжения.

5. В разработанной математической модели рассчитывалось рассеяние электрической энергии в тонкопленочном электролюминесцентном конденсаторе в рабочих режимах возбуждения свечения без учета потерь мощности в элементах схем управления, которые определяются конкретным составом схем и различием режимов возбуждения.

Электрическая мощность, которая выделяется в слое люминофора на единице площади поверхности тонкопленочной структуры:  $p = j_{LA} V_L$ , а энергия электрического поля, рассеиваемая в пленке люминофора на единице площади электролюминесцентного конденсатора за некоторое время  $t$ , определяется как



$$A(t) = \int_0^t j_{LA}(t) \cdot V_L(t) dt,$$

где  $j_{LA}$  - плотность тока проводимости в люминофоре;  $V_L$  - падение напряжения на люминесцентном слое.

Показано, что при возбуждении электролюминесценции знакопеременным импульсным напряжением зависимость электрической мощности, рассеиваемой в люминесцентной пленке при протекании тока проводимости, от времени после приложения прямоугольного импульса напряжения описывается следующим соотношением:

$$p(t) = j_{LA}(t) \cdot V_L(t) = \frac{C_D^2 \cdot V_F^2}{(C_D + C_L)(t + \tau_F) \cdot \left[ \ln \left( \frac{t}{\tau_F} + 1 \right) + \frac{V_F}{V - V_0} \right]^3},$$

где  $C_D$  и  $C_L$  - емкости диэлектрических и люминесцентных слоев, соответственно;  $V_F$  и  $\tau_F$  - параметры, определяемые конструкцией и материалами тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов и условиями возбуждения.

Электрическая энергия, выделяемая в пленке люминофора за один период, получается суммированием рассеиваемой энергии по всем четырем промежуткам времени. Значение этой величины вычисляется с помощью уравнения

$$A(T) = \frac{2C_D^2}{C_D + C_L} \cdot \left\{ V_1 \left[ V_1 - V_{F1} \left( \frac{1}{\ln \frac{t_1}{\tau_{F1}}} + \frac{1}{\ln \frac{t_4}{\tau_{F4}}} \right) \right] + V_3 \left[ V_3 - V_{F3} \left( \frac{1}{\ln \frac{t_2}{\tau_{F2}}} + \frac{1}{\ln \frac{t_3}{\tau_{F3}}} \right) \right] \right\},$$

где  $V_1$ ,  $t_1$  и  $V_3$ ,  $t_3$  - напряжения и длительности импульсов разной полярности;  $t_2$  и  $t_4$  - длительности промежутков между импульсами;  $V_{F1}$ ,  $V_{F4}$  и  $\tau_{F1}$ ,  $\tau_{F2}$ ,  $\tau_{F3}$ ,  $\tau_{F4}$  - параметры, определяемые конструкцией и материалами тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов и условиями возбуждения (амплитудой, частотой и скважностью импульсов).

При возбуждении электролюминесценции в тонкопленочных структурах напряжением, изменяющимся с конечной скоростью, процессы перезарядки граничных ловушек, определяющие изменение поляризованного заряда, распределения электрического поля и тока в электролюминесцентных конденсаторах, протекают в квазистационарном режиме, что подтверждается экспериментальными исследованиями тока в многослойных структурах при возбуждении пилообразным и синусоидальным напряжением. Квазистационарный режим характеризуется равенством скорости измене-

ния заряда на обкладках электролюминесцентного конденсатора и скорости изменения поляризационного заряда и обусловлен высокой скоростью перезарядки состояний границ раздела люминофор-диэлектрик.

Если электролюминесценция в тонкопленочных структурах возбуждается симметричным пилообразным напряжением, т.е.  $dV/dt = v = \text{const}$ , то величина выделяющейся в люминофоре электрической мощности будет постоянной:

$$p(t) = p_v = \frac{C_D^2 \cdot V_\tau}{C_D + C_L} v = \frac{4fC_D^2}{C_D + C_L} V_\tau V_A,$$

где  $f$  - частота;  $V_A$  – амплитуда симметричного пилообразного напряжения. Когда возбуждение электролюминесценции в тонкопленочной структуре производится напряжением, изменяющимся по гармоническому закону

$$V = V_A \sin \omega t,$$

где  $V_A$  и  $\omega$  - амплитуда и циклическая частота переменного напряжения, то изменение со временем величины рассеиваемой мощности обуславливается временной зависимостью тока проводимости в люминофоре

$$p(t) = \frac{\omega C_D^2}{C_D + C_L} V_\tau V_A \cos \omega t = \frac{2\pi \cdot f \cdot C_D^2}{C_D + C_L} V_\tau V_A \cos 2\pi f t.$$

Выражение для средней рассеиваемой мощности может быть получено усреднением выделяющейся в люминофоре энергии за период изменения напряжения:

$$p_{cp} = \frac{A(T)}{T} = 4f \frac{C_D^2}{C_D + C_L} V_\tau (V_A - V_\tau).$$

Получено совпадение выражений для рассеиваемой энергии в люминофоре при возбуждении электролюминесценции в многослойной структуре симметричным пилообразным и синусоидальным напряжением, что обусловлено предположением о квазистационарном режиме протекания электронных процессов в тонкопленочных электролюминесцентных излучателях в данных условиях, подтвержденное результатами экспериментальных исследований. Полученные соотношения для рассеиваемой энергии и мощности позволяют проанализировать влияние конструктивных параметров и условий возбуждения тонкопленочных электролюминесцентных излучателей.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ДАТЧИКА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

С.Ф.Медников, М.Л. Нечаевский

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В [5] описан электромагнитный датчик перемещений, первичный преобразователь которого содержит однослойную измерительную обмотку, равномерно распределенную вдоль трубчатого сердечника и помещенную в стальной корпус. Подвижный элемент – алюминиевая трубка – перемещается коаксиально корпусу датчика.

Использование приближенных формул для расчета протяженных цилиндрических катушек с сердечником (см., например [4]) дает удовлетворительные по точности результаты лишь на ограниченной длине катушки и приводят к значительным погрешностям при расчете ее параметров в начале и конце диапазона измерений. Поскольку катушка наматывается в один слой непосредственно на ферромагнитный сердечник, то значительное влияние на вид функции преобразования оказывают емкостные связи между обмоткой и сердечником, а также взаимная индуктивность между витками катушки по ее длине. Кроме того, необходимо учитывать экранирующее воздействие корпуса и подвижного элемента датчика на измерительную обмотку и друг на друга.

При значительном диапазоне измерений (десятки и сотни мм) электромагнитная система датчика имеет распределенный характер, поэтому в качестве ее модели целесообразно использовать электрическую линию, параметры которой характеризуют все компоненты импеданса измерительной обмотки. Это отражает специфику датчика перемещений: зависимость выходного сигнала от поточкораспределения в обмотке и влияние емкостных паразитных связей между ее витками и на сердечник (землю), что особенно важно в случае прямоугольной несущей.

Заметим, что когда говорят о цепях с распределенными параметрами, то обычно имеют в виду линии передачи электрической энергии на большие расстояния, телефонные и телеграфные воздушные и кабельные линии и т.п. В тоже время такого рода цепи возникают и тогда, когда «линий» в буквальном смысле слова нет. Так, достаточно длинная индуктивная катушка фактически представляет собой цепь с распределенными параметрами [2].

На рис. 1 показана элементарная ячейка электрической линии, которая служит схемой замещения бесконечно малого участка измерительной обмотки длиной  $dx$ , где координата  $x$  отсчитывается от одного из выводов.

Погонные (на единицу длины) параметры линии предполагаются постоянными:  $R$  и  $L$  – сопротивление и индуктивность обмотки,  $C_m$  – межвитковая емкость,  $G$  – проводимость изоляции провода,  $C$  – емкость между витками обмотки и ее сердечником, который служит обратным проводом электрической линии (один из выводов обмотки замкнут на сердечник). Эквивалентные комплексные амплитуды тока и напряжения в схеме являются функциями координаты  $x$ .

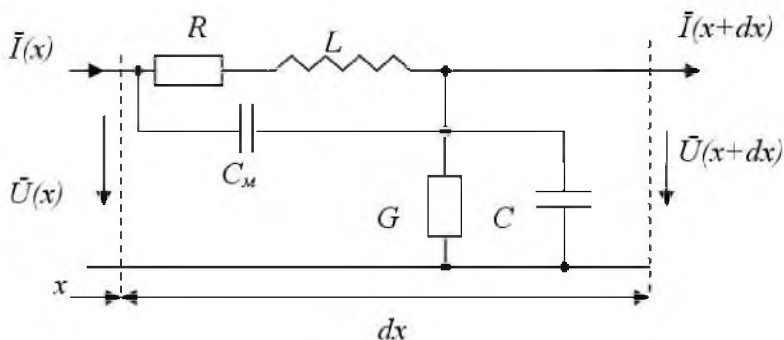


Рис. 1. Элементарная ячейка эквивалентной электрической линии

Согласно законам Кирхгофа для данной схемы на распределения тока и напряжения по длине линии описываются дифференциальным уравнением вида

$$(1 + j\omega C_m Z) F'(x) - Z Y F(x) = 0, \quad Z = R + j\omega L, \quad Y = G + j\omega C, \quad (1)$$

общее решение которого

$$F(x) = A e^{\gamma x} + B e^{-\gamma x}, \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  – постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий,  $\gamma = \alpha + j\beta$  – корень характеристического уравнения

$$\gamma^2 - \frac{ZY}{1 + j\omega C_m Z} = 0, \quad (3)$$

откуда с учетом (1)

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sqrt{p^2 + q^2} + q}, \quad \beta = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sqrt{p^2 + q^2} - q};$$

$$p = \frac{(RG - \omega^2 CL)(1 - \omega^2 C_m L) + \omega^2 C_m R(CR + LG)}{(1 - \omega^2 C_m L)^2 + \omega^2 C_m^2 R^2}; \quad (4)$$

$$q = \frac{\omega(CR + LG)(1 - \omega^2 C_M L) - \omega C_M R(RG - \omega^2 CL)}{(1 - \omega^2 C_M L)^2 + \omega^2 C_M^2 R^2}$$

Параметр  $\beta$  имеет физический смысл фазовой скорости пространственной волны (бегущей вдоль оси обмотки) [1,2], длина которой равна

$$\lambda = 2\pi / \beta. \quad (5)$$

Полагая частоту питания обмотки  $f = 2, 4, 8, 16, 32$  КГц и подставляя в (4), (5) числовые значения параметров, характерные для датчиков с диапазонами измерения от 100 до 630 мм, находим длину волны  $\lambda$  (табл. 1). Как видно из таблицы, при частотах от 2 до 32 кГц длина волны значительно превосходит длину реальных датчиков. Это указывает на то, что при рассмотрении измерительной обмотки как электрической линии волновые процессы в ней можно не учитывать.

Таблица 1

	Длина обмотки (мм)	100	160	200	250	300	400	630
f (Гц)	Длина волны (м)							
2000	$\lambda$	11,68	14,77	16,51	18,46	20,22	23,35	30,87
4000	$\lambda$	7,39	9,34	10,45	11,68	12,79	14,77	19,51
8000	$\lambda$	4,80	6,07	6,78	7,58	8,31	9,59	12,66
16000	$\lambda$	3,19	4,04	4,52	5,05	5,53	6,39	8,43
32000	$\lambda$	2,03	2,56	2,86	3,20	3,51	4,05	5,34

Значения эквивалентной емкости  $C_u$  измерительной обмотки без экрана и соответственно погонной емкости  $C = C_u / l$  в (3) определялись с использованием методики, описанной в [3]:

$$C_u = \text{Re} \left[ \frac{1}{j\omega} \left( \sqrt{\frac{1}{X_c Z_{u0}}} \frac{\text{ctg} Z_{u0}}{X_c} - \frac{1}{Z_{u0}} \right) \right], \quad X_c = \frac{2 \ln(2l_n / d_n) - 1}{j\omega \pi \epsilon \epsilon_0 l_n}, \quad (6)$$

где  $l_n$  и  $d_n$  – соответственно длина и диаметр провода измерительной обмотки,  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость его изоляции. Собственный импеданс измерительной обмотки без экрана  $Z_{u0}$  и индуктивная компонента  $X_c$ , вносимая экранирующим воздействием корпуса, вычисляются по формулам, приведенным в [7].

В табл. 2 приведены значения эквивалентной емкости измерительной обмотки на сердечник.

Таблица 2

Длина обмотки	140	200	240	290	340	450	680
С (нФ)	51,4 нФ	73,4 нФ	88,1 нФ	106 нФ	125 нФ	165 нФ	250 нФ

Как показано в [5,6], положение подвижного элемента линейно связано с изменением комплексного входного импеданса измерительной обмотки, для определения которого удобно использовать входное сопротивление эквивалентной линии  $Z_{ex}(x) = \dot{U}(x) / \dot{I}(x)$  в произвольном сечении с координатой  $x$ . Функция  $Z_{ex}(x)$  удовлетворяет дифференциальному уравнению

$$Z'_{ex} - \frac{Y}{1 + j\omega C_m Z} Z_{ex}^2 + Z_{ex} = 0, \quad (7)$$

решение которого при граничном условии  $Z_{ex}(l) = Z_l$

$$Z_{ex}(x) = \frac{Z_l - Z_0 \sqrt{1 + j\omega C_m Z} \operatorname{th} \gamma(x-l)}{1 - \frac{Z_l \sqrt{1 + j\omega C_m Z}}{Z_0} \operatorname{th} \gamma(x-l)}, \quad (8)$$

где  $\gamma = \sqrt{ZY / (1 + j\omega C_m Z)}$  - постоянная распространения,

$Z_0 = \sqrt{Z/Y}$  - волновое сопротивление.

Входной импеданс всей линии длиной  $l$  получается из (8) при  $x = 0$ :

$$Z_{ex}(0) = Z_{exl} = \frac{Z_l + Z_0 \sqrt{1 + j\omega C_m Z} \operatorname{th} \gamma l}{1 + \frac{Z_l \sqrt{1 + j\omega C_m Z}}{Z_0} \operatorname{th} \gamma l}. \quad (9)$$

С учетом подвижного экрана схема замещения электромагнитной системы датчика может быть представлена в виде каскадного соединения двух электрических линий переменной длины, соответствующих экранированной и неэкранированной частям обмотки (рис.2).

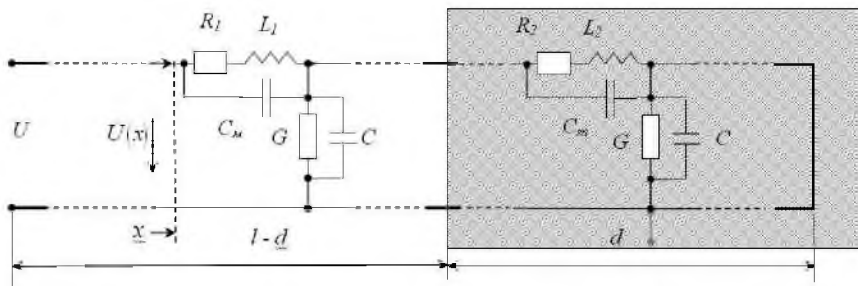


Рис. 2. Схема замещения электромагнитной системы датчика как эквивалентной электрической линии

Датчик конструктивно выполнен так, что выводы измерительной обмотки находятся на конце, противоположном экрану, поэтому экранированную часть обмотки можно рассматривать как короткозамкнутую линию ( $Z_1 = 0$ ) с переменной длиной  $d$ , входной импеданс которой определяется выражением (9) при  $l = d$  и  $Z = Z_{u2} / d$ , где  $Z_{u2}$  - эквивалентный импеданс экранированной части обмотки:

$$Z_{\text{эк}2} = Z_{02} \sqrt{1 + j\omega C_M Z_{u2} / d} \operatorname{th} \gamma_2 d, \\ Z_{02} = \sqrt{Z_{u2} / d Y}, \quad \gamma_2 = \sqrt{Z_{u2} / Y d}. \quad (10)$$

Импеданс  $Z_{u2}$  определяется на основе методики, изложенной в [7] и учитывающей электромагнитное взаимодействие подвижного экрана, корпуса и измерительной обмотки датчика.

Неэкранированную часть обмотки можно рассматривать как линию переменной длины  $l-d$ , нагруженную на входной импеданс экранированной части:  $Z_{l1} = Z_{\text{эк}2}$ . Входной импеданс этой части и соответственно всей электромагнитной системы “измерительная обмотка - экран” определяется из (8) при замене  $l$  на  $l-d$  и  $Z = Z_{u1} / (l-d)$ , где  $Z_{u1}$  - эквивалентный импеданс неэкранированной части обмотки, который находится аналогично  $Z_{u2}$ . С учетом (10):

$$Z_{\text{эк}}(d) = \frac{Z_{02} \sqrt{1 + j\omega C_M Z_{u2} / d} \operatorname{th} \gamma_2 d + Z_{01} \sqrt{1 + j\omega C_M Z_{u1} / (l-d)} \operatorname{th} \gamma_1 (l-d)}{1 + \frac{Z_{02} \sqrt{1 + j\omega C_M Z_{u2} / d} \operatorname{th} \gamma_2 d \sqrt{1 + j\omega C_M Z_{u1} / (l-d)}}{Z_{01} \operatorname{th} \gamma_1 (l-d)}}, \quad (11) \\ Z_{01} = \sqrt{Z_{u1} / (l-d) Y}, \quad \gamma_1 = \sqrt{Z_{u1} Y / (l-d)}.$$

### Список использованных источников

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., Высшая школа, 1973.- 752с.
2. Геллер Б., Веверка А. Импульсные процессы в электрических машинах. – М.: Энергия, 1973.- 440с.
3. Зимин Е.Ф., Кочанов Э.С. Измерение параметров электрических и магнитных полей в проводящих средах. - М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Калантаров П.Л., Цейтлин Л.А. Расчет индуктивностей. Справочная книга. Л.: Энергия, 1970.- 415 с.
5. Конюхов Н.Е., Медников С.Ф., Нечаевский М.Л. Датчик положения для гидравлических цилиндров.//Датчики и системы. 2003, №1.- с.36-38.
6. Медников С.Ф. Схема замещения для индуктивных преобразователей перемещения. - Вестник СГАУ, 2003, выпуск 8, с. 63-66.
7. Loos H. R. Systemtechnik induktiver Weg- und Kraftaufnehmer, 1992, 250 s.

## СПАСАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЕРХОВОГО РАБОЧЕГО БУРОВОЙ ВЫШКИ

В.А. Зубарев

Приволжско-Уральский региональный центр МЧС России

Из статистических исследований промышленных, литературных и патентных материалов следует, что отсутствуют методы и средства спасения верхового рабочего при внезапном фонтанировании и пожаре на буровой вышке.

При явлении открытого фонтанирования нефти или газа на устье скважины буровой обычно следует воспламенение продукта, т.е. пожар, и завал вышки, в то время как верховой рабочий со своей площадки должен спуститься с вышки по трапу (лестнице) против встречного потока фонтана, а возможно уже и факела, что сомнительно гарантирует ему безопасность и спасение.

Отсюда следует, что тема спасения верхового рабочего буровой вышки является актуальной для нефтяной и газовой промышленности. Возникает необходимость разработки способов и средств быстрой и автоматической эвакуации верхового рабочего с буровой вышки на безопасное расстояние от ее основания.

Существует ряд вариантов спасательных устройств, для верхового рабочего буровой вышки, [1,2,3].



Одно из них показано на рис. 1. Над площадкой 1 верхового рабочего буровой вышки 2 закреплена тросовая растяжка 3, на нижнем конце которой установлен амортизатор 4.

Рабочий, находясь на площадке 1 буровой вышки 2, имеет на себе предохранительный пояс с карабином. При явлении открытого фонтана или пожаре, рабочий цепляется карабином за тросовую растяжку 3 и прыгает с площадки 1. На своем карабине по тросовой растяжке 3 он скользит вниз и падает на амортизатор 4, который без обратной отдачи гасит кинетическую энергию падения рабочего.

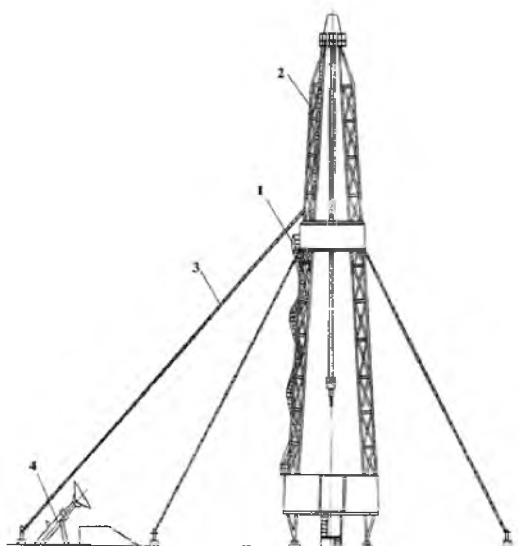


Рис. 1.

При появлении открытого фонтана на устье скважины буровой вышки, когда спуск по лестнице становится опасным встречно фонтану и ежесекундной опасностью его воспламенения, рабочий выходит на мостик, ложится в люльку и посредством рукоятки разъединяет фиксатор. Освобожденная стойка начинает свободное падение верхнего конца с люлькой и рабочим. Описав дугу, стойка ударяется в амортизатор, который гасит кинетическую энергию падения стойки, люльки и рабочего.

Анализ настоящих спасательных устройств выявляет один общий и существенный недостаток, а именно незначительное удаление рабочего от основания вышки на расстояние, которое практически равно высоте площадки верхового рабочего и значительно меньше высоты буровой вышки.

При появлении открытого фонтана из устья скважины, когда спуск по лестнице вышки становится опасным или невозможен из-за открытого встречного фонтанирования и ежесекундной опасности воспламенения и взрыва с последующим разрушением вышки, верховой ложится в люльку и отклоняя рукоятку, спускается вниз.

Скорость спуска, развиваемая тележкой с люлькой и рабочим равна

$$V=2gH \cos \alpha, \text{ м/с,}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, 9,8 м/с;  $H$  – высота от земли до площадки 2 вышки 1, м;  $\alpha$  – угол между перпендикуляром к поверхности земли и наклоном рельсовых путей.

Таким образом, обеспечивается быстрое удаление рабочего на значительное безопасное расстояние от вышки, превышающее всю ее высоту до нескольких раз.

#### Список использованных источников

1. А.с.№49507 СССР, М.Кл. А62В37/00. Спасательное устройство/ О.И.Прокопов и др. Б №46, 1975.
2. А.с.№512769 СССР. М.Кл. А62В37/00. Спасательное устройство/ О.И.Прокопов, С.З.Ягудин, Б. №17, 1980.
3. А.с.№733698 СССР, М.Кл. № А62В37/00. Спасательное устройство для верхового рабочего/ О.И.Прокопов, С.З.Ягудин, Б. № 18, 1980.

## ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ИИС КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КАЛИБРОВКИ МАНИПУЛЯТОРОВ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

М.Н.Пиганов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Качественный уровень автоматизации производственных процессов в большой степени зависят от уровня развития информационно-измерительных систем, а качество последних, в свою очередь, определяется развитием методов измерения технологических параметров. В настоящее время на фоне бурного развития роботизации производства возрастает значение соблюдения стандартов на средства робототехники, разработки эффективных методов испытаний роботов. По ISO 8373 (Международной Организации по стандартизации) промышленные роботы определены как свободно программируемые устройства с рядом твердых компонентов, свя-

занных соединениями. Один конец компонент составной цепочки должен быть зафиксирован, в то время как другой - конечный (рабочий орган) может быть перемещен управлением с помощью системы управления роботом. Если имеются, например, шесть или более поворотных шарниров, промышленный робот может достигать каждой точки его рабочей ячейки с любой ориентацией.

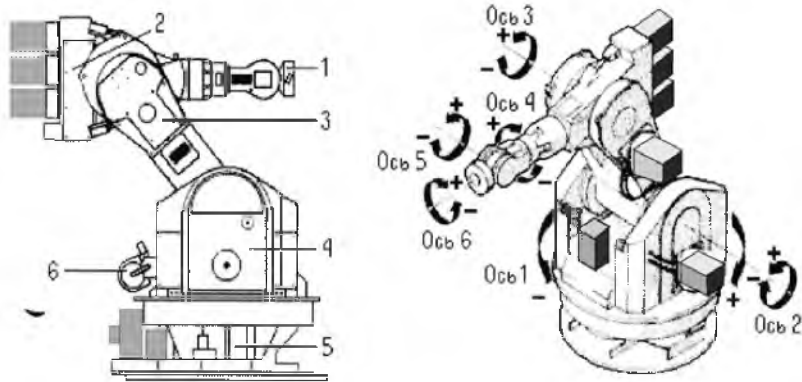


Рис. 1. Модель шестизвенного шарнирного манипулятора универсального промышленного робота: 1,2,3,4,5,6 – звенья манипулятора

Если манипулятор имеет шесть степеней свободы (рис. 1), то существует конечное число обобщенных векторов  $q$  (различных конфигураций манипулятора), обеспечивающих заданное положение точки конца инструмента. В идеальной модели робота при изменении углов Эйлера положение ТСР (рабочей точки инструмента) не должно изменяться и робот точно воспроизводит запрограммированную контурную траекторию независимо от положения звеньев манипулятора. В реальности обеспечение совпадения идеальной и реальной моделей робота (за счет операции калибровки), несмотря на индивидуальный характер расположения механических нулей в шарнирах манипуляторов одного типа, будет гарантией совместности (взаимозаменяемости) роботов в роботизированных автоматических линиях и комплексах. В этой связи проблема контроля качества калибровки робота приобретает первостепенное значение.

Один из методов проверки точности калибровки описан в работе [1] и основан на использовании двух концентрических цилиндров с массивом отверстий на их поверхности. Решение предполагает вставку ориентированного инструмента робота в два отверстия (в обоих цилиндрах) с трудно-реализуемой идентификацией оси между двумя центрами и поддержанием

линейности части инструмента, вставляемой по направлению вдоль этих осей.

Другой метод калибровки, основанный на осуществлении активных измерений положения ТСР, внедрен в ОАО «АВТОВАЗ» [2]. Сущность метода основана на том, что универсальный промышленный робот является сложной системой, включающей в себя систему управления роботом и манипулятором. Поэтому система измерительного контроля калибровки реализована методом активного измерительного эксперимента, включающего в себя измерение и одновременное управление объектом измерения по рабочей программе.

Однако разработанный для осуществления метода стенд обладает существенным недостатком. Процесс калибровки осуществляется за счет контактного способа измерения положения точки ТСР. Следовательно, перемещения рабочего органа в пределах рабочей зоны робота в процессе измерений не происходит, что может привести к существенным погрешностям, в том числе за счет люфтов или провисания механических звеньев манипулятора.

Идентифицированные параметры, связанные с калибровкой робота – погрешность позы, погрешность повторяемости, и разрешающая способность. Каждый из них зависит от различных использованных компонентов при проектировании робота (связи, двигателя, кодеры, и т.д.), процедуры конструирования и емкости контроллера. Разрешающая способность определена как самое маленькое инкрементальное перемещение, которое робот может физически производить. Погрешность повторяемости - критерий способности робота двигаться обратно к той же самой позиции и ориентации. Погрешность позы определена, как способность робота точно двигаться в желательную позицию в трехмерном пространстве. Возможные погрешности графически иллюстрируются на рис.2.

Наличие низких статических погрешностей позы и повторяемости определяют способность робота двигаться в желательное расположение без любой девиации. Динамическая погрешность позы и повторяемости определяют способность робота следовать желательной траектории с малой или отсутствующей дисперсией.

Анализируя методы, рассмотренных в работах [1,2], можно сделать вывод о невозможности на их основе осуществлять процесс калибровки в процессе движения манипулятора в пределах всей рабочей зоны, что, безусловно, сказывается на значениях динамических погрешностей. Поэтому наиболее перспективным следует считать метод, основанный на бесконтактных, например, оптических методах измерения перемещений рабочей точки ТСР манипулятора в процессе выполнения технологических операций калибровки.

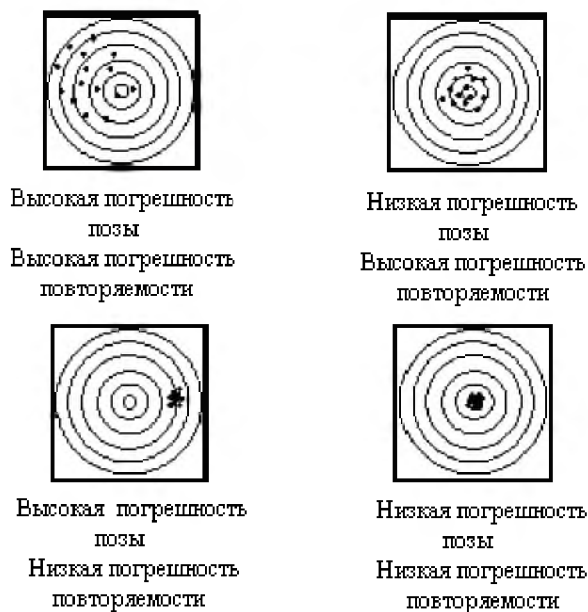


Рис.2. Иллюстрация погрешностей универсального промышленного робота

#### Список использованных источников

1. K. Conrad, P. Shiakolas. Robot calibration issue: accuracy, repeatability and calibration // The University of Texas at Arlington. USA, 2003.
2. Нестеров В.Н., Жеребятъев К.В. Информационно-измерительная система для калибровки универсальных промышленных роботов // Датчики и преобразователи информации систем измерения, контроля и управления "ДАТЧИК-2004": Сб. матер. XVI Н.-т. конф. с участием зарубеж. спец. Под ред. проф. В.Н.Азарова - М.: МГИЭМ, 2004.
3. Пат.2185953 РФ, МКИ В 25 J 19/00. Стенд для контроля точности контурных перемещений промышленного робота / К.В. Жеребятъев, Р.Р. Кусов, П.Е. Судаков. – №2001103100; Заявл. 02.02.01; Оpubл. 27.07.02. Бюл. №21.

## КАЛИБРОВКА ОПТИЧЕСКОЙ ИИС МНОГОМЕРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.М. Мухин, В.Н. Нестеров, Д.Б. Жмуров., А.В. Мешанов  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Рассмотренные в работах [1-3] метод многомерных тестовых объектов для определения информативных составляющих сложных перемещений подвижных объектов и методики синтеза соответствующих измерительно-вычислительных алгоритмов для оптических ИИС допускают различные варианты реализаций, как в части выбора формы многомерного тестового объекта, так и в части синтеза измерительно-вычислительных алгоритмов. Однако практическое воплощение предложенных технических решений осложняется тем, что сложность контролируемых перемещений, существенно влияют на вид моделей измеряемых величин, структуру ИИС и их метрологические параметры.

Для отработки технологий метода и апробирования математических моделей многокомпонентных перемещений многомерных тестовых объектов [1-7] на Самарском электромеханическом заводе совместно с кафедрой радиотехнические системы СамГТУ создана установка для калибровки оптической ИИС составляющих сложных перемещений подвижных объектов, фотография которой представлена на рис.1. В основе установки – видеокамера 1 модели Computar ZCF11CH3, многомерный тестовый объект 2, персональный компьютер 3 с платой видеозахвата модели PixelView CopexantCX23881 и механизм многокомпонентных перемещений 4.

Механизм многокомпонентных перемещений, изготовленный на основе фрезерного станка и поворотного стола (рис.2), обеспечивает пять степеней свободы перемещений тестового объекта  $ABC$ . Линейные перемещения объекта в направлениях трех ортогонально ориентированных осей координат обеспечиваются органами управления 1, 2 и 3. Элементы 4 и 5 поворотного стола позволяют осуществлять угловые перемещения относительно осей координат, ориентированных в направлениях, заданных отрезками  $oC$  и  $DE$ .

Механизмы перемещений снабжены соответствующими шкалами отсчета 6, 7, 8, 9, 10, позволяющими с необходимой точностью контролировать в процессе выполнения операций калибровки ИИС составляющих сложных перемещений тестового объекта  $ABC$ .

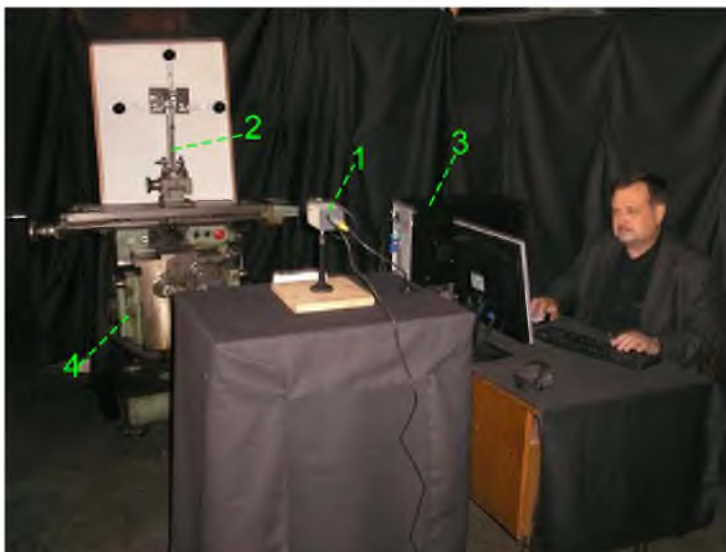


Рис.1. Установка для калибровки оптической ИИС: 1 – видеокамера Computar ZCF11CH3; 2 – многомерный тестовый объект; 3 – персональный компьютер с платой видеозахвата PixelView ConexantCX23881; 4 – механизм многокомпонентных перемещений

Многомерный тестовый объект представляет собой крестообразную фигуру  $ABC$  с параметрами:  $AB = 450$  мм.,  $OC = 225$  мм. Точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  в целях упрощения процедуры их поиска на получаемом с оптического прибора изображении, обозначены черными сферами известного диаметра.

Обработка перемещений изображения тестового объекта  $ABC$  производится на компьютере. Для осуществления калибровки системы разработан специальный алгоритм работы программной части, блок-схема которого приведена на рис.3.

Получение с видеокамеры изображения тестового объекта осуществлялись с помощью набора инструментов, который предоставляет Microsoft DirectShow. Программный интерфейс DirectShow представляет собой медиа-потокую архитектуру для приложений на платформе Microsoft Windows.

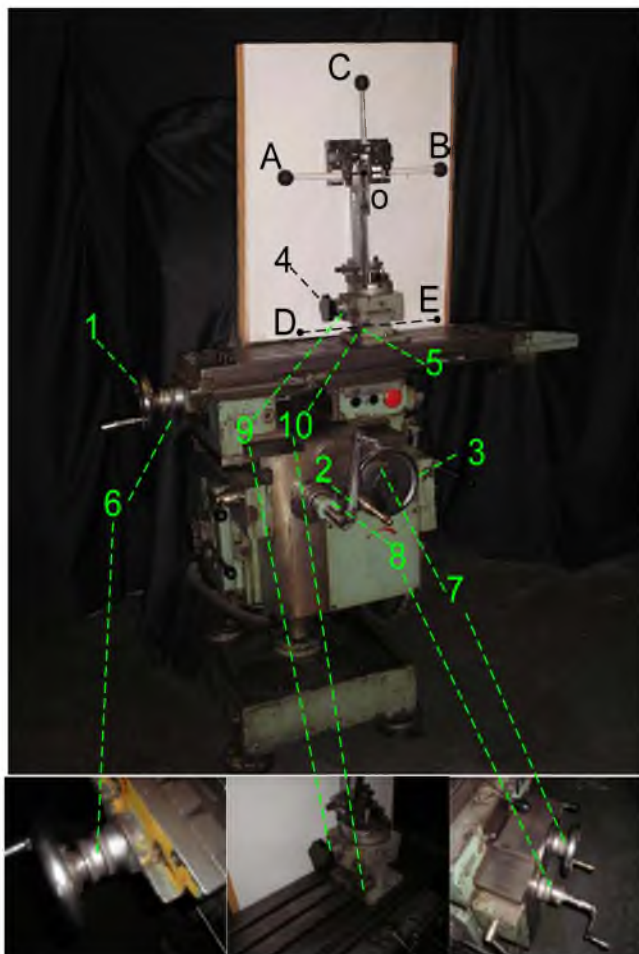


Рис.2. Механизм многокомпонентных перемещений тестового объекта: 1-10 – органы управления; *ABC* - тестовый объект, компоненты перемещения которого подлежат измерению



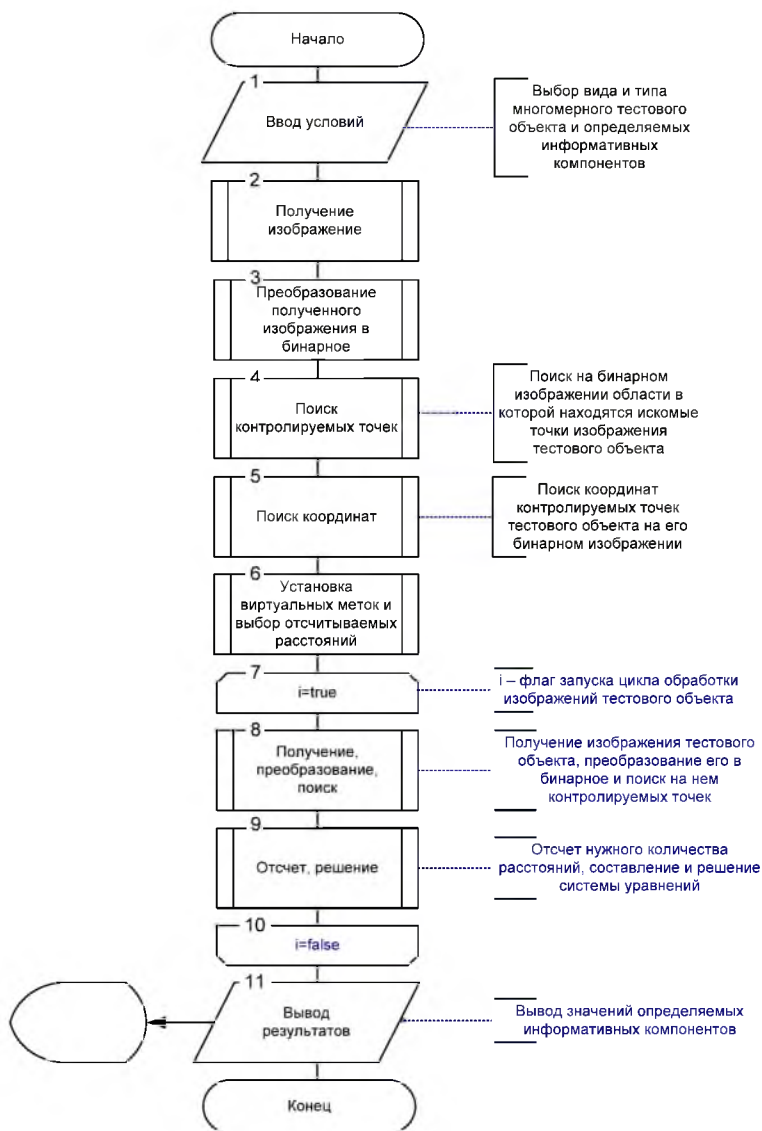


Рис.4. Схема алгоритма работы программы для определения составляющих многокомпонентных перемещений многомерных тестовых объектов

С помощью рассмотренного аппаратно-программного комплекса выполнены экспериментальные исследования по определению составляющих многокомпонентного перемещения многомерного тестового объекта. Модель перемещений контролируемого тестового объекта показана на рис.4.

Тестовый объект в виде отрезка  $AB$  известной длины  $L_x$  в начальный момент времени находится в положении I. В процессе выполнения эксперимента объект  $AB$  занял положение III. Проекции  $\bar{x}_1$  и  $\bar{x}_2$  характеризуют линейные перемещение объекта  $AB$  вдоль осей  $o_0X_0$  и  $o_0Y_0$  соответственно.

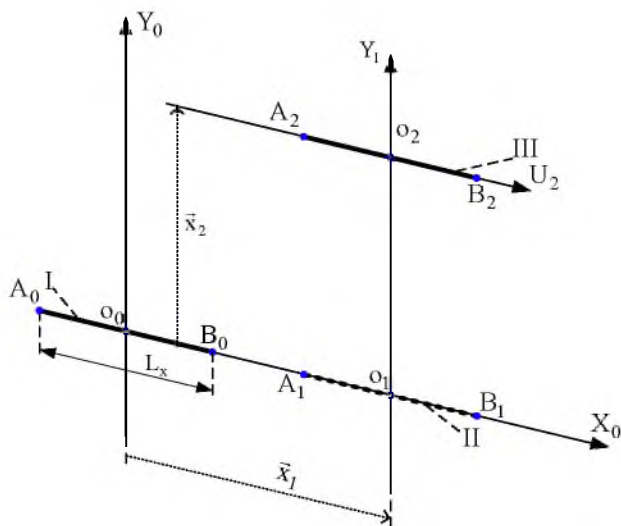


Рис.4. Многокомпонентное перемещение тестового объекта  $AB$

При помощи механизмов позиционирования тестовый объект перемещался вдоль координатной оси  $o_0X_0$  на расстояние 100 мм с шагом 5 мм. После каждого шага перемещений в соответствии с разработанными алгоритмами вычислялись значения информативных составляющих движения  $x_1$  и  $x_2$ . Аналогично эксперимент осуществлялся в процессе перемещения тестового объекта вдоль оси  $o_0Y_0$ . Механизмы управления имеют достаточно высокую точность позиционирования, цена деления шкалы перемещения вдоль оси  $o_0X_0$  составляет 0,05 мм, вдоль оси  $o_0Y_0$  – 0,02 мм; ось  $o_0X_0$  механизма позиционирования выверена по горизонту.

Система уравнений и измерительно-вычислительные алгоритмы для определения составляющих многокомпонентных перемещений тестового объекта  $AB$  по его изображениям получены в соответствии с методикой, рассмотренной в [1], и имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= k(x_1); \\ X_2 &= k(L_x + x_1); \\ Y_3 &= k(x_2), \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $X_1, X_2, Y_3$  - изображения многокомпонентных перемещений соответствующих точек тестового объекта  $ABC$ ;  $k$  - коэффициент преобразования оптического тракта;  $L_x$  - известный параметр тестового объекта;

$$x_1 = L_x \frac{X_1}{(X_2 - X_1)}; \quad (2)$$

$$x_2 = L_x \frac{Y_3}{(X_2 - X_1)}. \quad (3)$$

Результаты экспериментальных измерений представлены графическими материалами на рис.5 и рис.6. Измерения осуществлялись в положении камеры на расстоянии  $2000 \div 2200$  мм. от перемещающегося тестового объекта  $ABC$ . Погрешности позиционирования тестового объекта, обусловленные погрешностями механизма перемещения, по оси  $o_0X_0$  не превышали  $0,025$  мм., а по оси  $o_0Y_0$  -  $0,01$  мм. Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод о хорошем совпадении идеальных и реальных градуировочных характеристик, полученных в реальных цеховых условиях. Максимальное отклонение реальной градуировочной характеристики от идеальной при измерениях в направлении оси  $o_0X_0$  не превысило 2% в диапазоне измерения от 0 до 100 мм. Максимальное отклонение реальной градуировочной характеристики от идеальной при измерениях в направлении оси  $o_0Y_0$  не превысило 1% в диапазоне измерения от 0 до 100 мм.

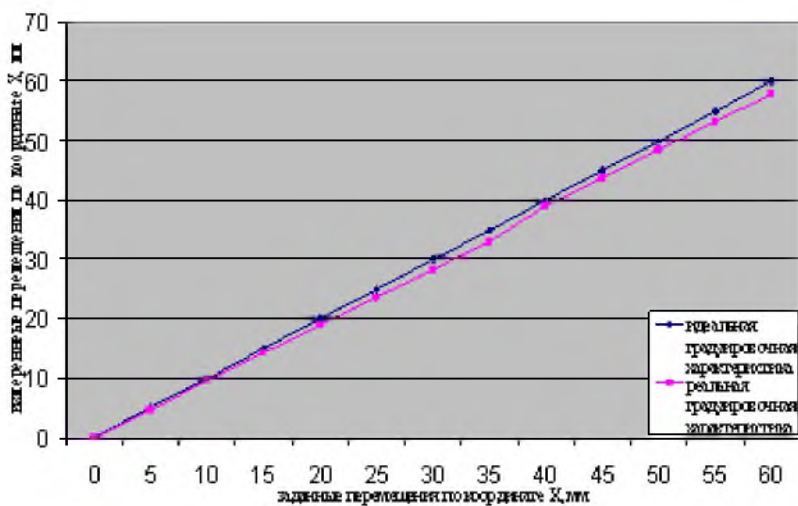


Рис. 5. Градуировочная характеристика оптической ИИС для информативной компоненты  $\bar{X}_1$

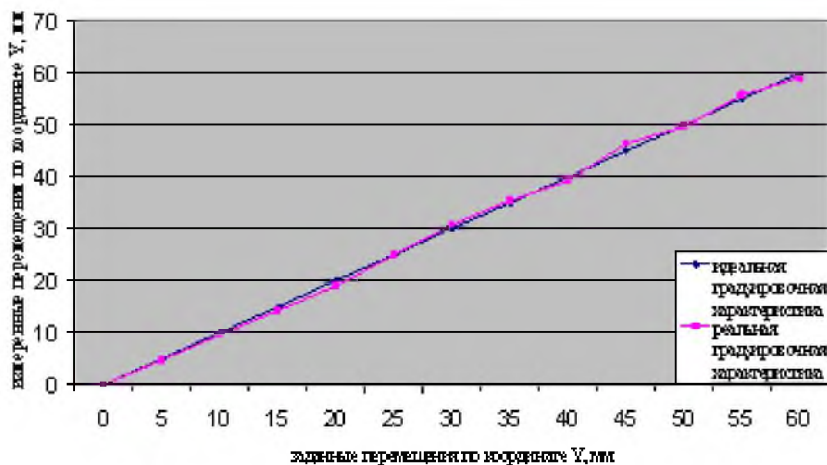


Рис. 6. Градуировочная характеристика оптической ИИС для информативной компоненты  $\bar{X}_2$

Следует отметить, что возможности системы позволяют распространить полученные результаты не только на большие диапазоны измерения и большее количество информативных компонентов, характеризующих сложные многомерные перемещения подвижных объектов, чему и будут посвящены дальнейшие исследования. Следует также отметить, что полученные погрешности обусловлены как методическими, так и инструментальными составляющими. Поэтому одним из направлений дальнейших исследований будет являться минимизация названных погрешностей и дальнейшее совершенствование метода и измерительной системы в целом.

Новизна использованного в работе технического решения подтверждена патентом РФ на изобретение[8], по которому получено положительное решение.

Полученные результаты могут найти применение при создании установок для калибровки универсальных промышленных роботов (манипуляторов), мониторинга параметров ходовой части автомобилей, а также систем специального назначения.

#### Список использованных источников

1. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Математические модели векторных многокомпонентных физических величин и метод многомерных тестов в оптических измерительных системах // Измерительная техника. - 2006, №12. - С.10-13.
2. Нестеров В.Н., Мухин В.М., Мещанов А.В. Метод многомерных тестовых объектов в оптических ИИС для определения параметров ходовой части автомобилей в процессе их диагностики // Информационные, измерительные и управляющие системы. Научно-техн. сб. Самарского отделения Поволжского центра Метрологической академии России / Под ред. проф. В.Н.Нестерова. - Самара: СамГТУ, 2007. Вып.3. - С.15
3. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Теоретические основы оптических измерений составляющих многокомпонентных перемещений подвижных объектов на базе метода многомерных тестов // Измерительная техника. - 2007, №11. - С.3-9.
4. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Метод многомерных тестов в оптических измерительных системах // Информационные, измерительные и управляющие системы: Н-т. сб. Самарского отделения Поволжского центра Метрологической академии России / Под ред. проф. В.Н.Нестерова. – Самара: СамГТУ, 2006. Вып.2. – С. 64-74.
5. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Комбинационные математические модели и метод многомерных тестов в оптических измерениях составляющих многокомпонентных перемещений подвижных объектов // Сборник док-

- ладов Международной конференции по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2007). Т.2. - СПб, 2007.-С.21-30.
6. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Математическое моделирование многокомпонентных перемещений подвижных объектов для алгоритмической обработки оптической информации //Сб. докл. научной сессии ГУАП. Ч. II. Технические науки. - СПб.: ГУАП, 2007. - С.171-176.
  7. Нестеров В.Н., Мещанов А.В. Математическое моделирование в задачах определения многокомпонентных перемещений простых объектов // Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности: Сб. тр. третьей международной научно-практ. конф. - СПб., 2007. - С.82-83.
  8. Пат. заявка №2006114270/28 РФ, МКИ G 01 В 11/00. Способ измерения компонентов сложных перемещений объекта / В.Н.Нестеров, В.М.Мухин, А.В.Мещанов.

## **ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИИС ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНЫХ ЦЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МНОГОМЕРНЫХ ТЕСТОВЫХ ОБЪЕКТОВ**

В. Н. Нестеров, В. М. Мухин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Оптические средства измерения, широко используемые для определения различных параметров движения, позволяют решать задачу без непосредственного контакта с контролируемым объектом. Появление в последнее время видеокамер с достаточно высокой разрешающей способностью и стандартным интерфейсом сопряжения с цифровыми средствами обработки информации явилось дополнительным стимулом их использования в сложных системах промышленного, бытового и специального назначения. Одной из актуальных задач, решение которой основано на предложенном авторами методе и оптических средствах измерения, является задача бесконтактного определения информативных составляющих перемещения тела, движущегося по произвольной траектории и меняющего свою ориентацию в пространстве. Перспективной областью использования предложенных решений является подсистемы контроля и вычисления параметров движения подвижных целей в системах наведения на цель специального назначения.

Поэтому авторами поставлена и решается задача обоснования и разработки метода и алгоритмов измерения составляющих сложных переме-

щений на базе цифровых оптических видеокамер, обладающих высокими метрологическими характеристиками и возможностями оперативной переориентации систем на решение широкого класса задач.

В общем случае информационная модель многокомпонентного перемещения  $\bar{X}$ , отражающего сложные движения механической системы, представляется в следующем виде [1,2]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_x(r, \tau) &= F(\bar{x}_{1x}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{px}(r, \tau)); \\ \bar{X}_y(r, \tau) &= F(\bar{x}_{1y}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{py}(r, \tau)); \\ \bar{X}_z(r, \tau) &= F(\bar{x}_{1z}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pz}(r, \tau)); \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\bar{X}_x, \bar{X}_y, \bar{X}_z$  - проекции перемещения  $\bar{X}$  на координатные оси декартовой системы координат;  $\bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau)$  - информативные компоненты  $k$ -й координатной составляющей перемещения  $\bar{X}$ ;  $r, \tau$  - пространственные и временные координаты;  $F$  - функция связи информативных компонентов  $\bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau)$ , определяемая физикой исследуемого объекта или процесса и законами сложения векторов.

Проблема измерения названных информативных компонентов проявляющихся в составе многокомпонентных перемещений обусловлена, с одной стороны, многовариантностью их представления в модели, с другой стороны, - одинаковой физической размерностью и совпадающим спектральным диапазоном, что при векторном сложении приводит к неселективности прямых методов измерения.

Для решения последней составляющей проблемы используется метод, основанный на обеспечении в структуре соответствующей измерительной системы нескольких измерительных каналов, «асимметричных» по отношению к информативным компонентам многокомпонентных физических величин [1,2].

Методообразующие признаки данного подхода следующие:

1. Наличие в структуре измерительной системы  $n$  каналов, «асимметричных» относительно информативных компонентов

$$\bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau)$$

многокомпонентных перемещений  $\bar{X}_k$ :

$$\left. \begin{aligned} Y_1(\tau) &= \psi_1 \left\{ \overline{F}_1 \{ \bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau) \} \right\}; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ Y_n(\tau) &= \psi_n \left\{ \overline{F}_p \{ \bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau) \} \right\}, \end{aligned} \right\} (n \geq p \geq 2); \quad (2)$$

$$\overline{F}_1 \{ \bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau) \} \neq \dots \neq \overline{F}_p \{ \bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau) \}, \quad (3)$$

где  $Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau)$  - функции преобразования измерительных каналов;  $\overline{F}_1 \{ \bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau) \}, \dots, \overline{F}_p \{ \bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau) \}$  - векторные функции множества составляющих их информативных компонентов, поступающие на входы соответствующих измерительных каналов.

2. Реализуемость в системе измерительно-вычислительных алгоритмов:

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_{1k}(r, \tau) &= f_1 \{ Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau) \}; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ \bar{x}_{pk}(r, \tau) &= f_p \{ Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau) \}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Условием существования последних, при непрерывности и дифференцируемости  $Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau)$  по  $\bar{x}_{1k}(r, \tau), \dots, \bar{x}_{pk}(r, \tau)$  во всем диапазоне измерения, является тождественное неравенство нулю Якобиана:

$$\frac{\partial(Y_1, Y_2, \dots, Y_n)}{\partial(x_1, x_2, \dots, x_p, k_{p+1}, \dots, k_n)} \neq 0, \quad (5)$$

где  $k_{p+1}, \dots, k_n$  - неизвестные параметры в  $Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau)$ .

В соответствие с положениями концепции векторной многокомпонентной физической величины [1] математическая модель многокомпонентных перемещений для общего случая имеет следующий вид:

$$\overline{X}_i(r, \tau) = \overline{F}_i \{ \overline{\chi}_1(r, \tau), \dots, \overline{\chi}_p(r, \tau) \} = \sum_{j=1}^p \overline{\chi}_j(r, \tau). \quad (6)$$



Переходя от векторной модели (6) к скалярной с учетом требования (3) запишем:

$$X_i(r, \tau) = \xi_i \chi_i + \sum_{j=1}^p \zeta_{ij} \chi_j(r, \tau), \quad (7)$$

где  $i$  - соответствует порядковому номеру многокомпонентного перемещения;  $\chi_i$  - расстояние от точки, принятой за начало отсчета до точки, перемещения которой обуславливаются информативными компонентами  $\chi_i(r, \tau)$ ;

$$\xi_i, \zeta_{ij} = \begin{cases} +1, \text{ если проекции векторов } \overline{\chi_i}, \overline{\chi_j} \text{ совпадают с} \\ \text{направлением соответствующей оси координат;} \\ -1, \text{ если проекции векторов } \overline{\chi_i}, \overline{\chi_j} \text{ не совпадают с} \\ \text{направлением соответствующей оси координат;} \\ 0, \text{ если соответствующая компонента отсутствует.} \end{cases} \quad (8)$$

Модель (7) является основой для построения системы уравнений вида (2). Однако комбинирование коэффициентов  $\xi_i, \zeta_{ij} \in \{-1, 0 + 1\}$  в (7) не всегда обеспечивается корректное выполнение условия (3) и, соответственно, условия (5), что необходимо для существования измерительно-вычислительных алгоритмов (4).

Сущность решения последней проблемы заключается в создании совмещаемого с контролируемым объектом распределенного в пространстве контрольного объекта, обладающего известными с высокой точностью геометрическими параметрами, и использовании названных параметров в качестве мер для обеспечения измерительно-вычислительных алгоритмов. Совокупность указанных мер, объединенных в контрольном объекте, назовем многомерным тестом, а метод, основанный на использовании многомерных тестов для определения информативных составляющих векторных многокомпонентных физических величин, - методом многомерных тестов.

В рамках общей концепции векторной многокомпонентной физической величины [2] проекции многомерных тестов на координатные оси рассматриваются как многокомпонентные величины - многокомпонентные тесты, составляющие которых, также являются векторными величинами, функционально связанными с измеряемыми величинами. Причем, функции связи и общая идеология с необходимостью подпадают под основные положения названной концепции:

- многомерные многокомпонентные тесты рассматриваются как функции множества составляющих их компонентов;
- функции связи названных компонентов в моделях многокомпонентных тестов определяются законами векторной алгебры;
- модели векторных многомерных многокомпонентных тестов допускают многовариантность представления указанных составляющих в зависимости от решаемой задачи.

Соответственно, компоненты многокомпонентных тестов наряду с модулем характеризуются и направлением в пространстве. Переходя от векторных моделей к скалярным, в соответствие с требованием (3) модель (7) может быть записана в следующем виде:

$$x_i(r, \tau) = \xi_i L_i + \sum_{j=1}^p \varsigma_{ij} \chi_j(r, \tau), \quad (9)$$

где  $\bar{L}$  - модуль  $i$ -й компоненты  $\bar{L}_i$  многомерного теста  $\bar{L}$  ( $i$ -я компонента в общем случае может быть равна самому многомерному тесту  $\bar{L}_i = \bar{L}$ );  $\xi_i$  - коэффициент, учитывающий направление  $\bar{L}_i$  в пространстве, который принимает значения в соответствие с соглашением (8).

Конкретизируя модель (2) для оптического измерительного преобразователя и используя скалярную модель (9) для  $p$  информативных компонентов многокомпонентных перемещений  $\sum_{j=1}^p \varsigma_{ij} \chi_j(r, \tau)$  выбранных точек изображения контрольного объекта, можем записать систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} Y_1(r, \tau) &= \gamma_1 k \left\{ \xi_1 L_1 + \sum_{j=1}^p \varsigma_{1j} x_j(r, \tau) \right\}; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ Y_n(r, \tau) &= \gamma_n k \left\{ \xi_n L_n + \sum_{j=1}^p \varsigma_{nj} x_j(r, \tau) \right\}, \end{aligned} \right\} n = p + 1, \quad (10)$$

где  $k$  - коэффициент передачи оптического канала;

$$\gamma_i = \begin{cases} +1, \text{ если направления проекций векторов от} \\ \text{точки начала отсчета до контролируемой} \\ \text{точки совпадают с направлением соответ-} \\ \text{ствующей координатной оси;} \\ -1, \text{ если направления проекций векторов от} \\ \text{точки начала отсчета до контролируемой} \\ \text{точки противоположно направлению} \\ \text{соответствующей координатной оси.} \end{cases} \quad (11)$$

Комбинируя значения  $\gamma_i \in \{-1, +1\}$ ,  $\xi_i, \zeta_{ij} \in \{-1, 0, +1\}$  в системе уравнений (10), выявляем варианты, когда условие (5) выполняется. Осуществив выбор физически реализуемых вариантов, и решая систему (10) относительно  $\chi_j(r, \tau)$ , получаем искомые измерительно-вычислительные алгоритмы:

$$\left. \begin{aligned} x_{ik}(r, \tau) &= f_1 \{f(L), Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau)\}; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ x_{pk}(r, \tau) &= f_p \{f(L), Y_1(\tau), \dots, Y_n(\tau)\}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Представленный метод измерения и получаемые на его основе измерительно-вычислительные алгоритмы могут служить основой для разработки интеллектуальных систем измерения, обработки информации и выдачи соответствующих сигналов управления при решении широкого спектра задач, связанных с определением взаимного положения тел в процессе их сложных перемещений, в том числе для определения параметров движения подвижных целей.

#### Список использованных источников

1. Нестеров В.Н. Принципы измерений векторных многокомпонентных физических величин // Информационно-измерительные и управляющие системы. - 2003, №2-3. - С. 92-98.
2. Нестеров В.Н. Теоретические основы измерений составляющих векторных многокомпонентных физических величин // Измерительная техника. - 2004. - №7. - С. 12-16.

# САМОСОГЛАСОВАННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В БЛИЖНИХ ЗОНАХ ИЗЛУЧАЮЩИХ СТРУКТУР, ГЕОМЕТРИЯ КОТОРЫХ ОПИСЫВАЕТСЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ

Н. М. Святкин

Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики,  
г. Самара

В данной работе предложена новая физическая модель диполя Герца в виде тонкого и короткого идеально-проводящего электрического вибратора.

Для любой излучающей структуры с цилиндрической симметрией, ЭМП которой не зависит от координаты  $\phi$ , в соответствии с уравнениями Максвелла оно распадается на два независимых поля: одно для составляющих  $\{H_\rho, H_z, E_\phi\}$ , другое для составляющих  $\{H_\phi, H_z, E_\rho\}$ . Поэтому для таких структур вместо СИП (3) было получено два независимых интегральных соотношения: одно, определяемое через  $h_z$ , на поверхности  $\rho = \rho_0$ ; другое определяемое через  $dh/dz$  на поверхности  $\rho = \rho_0$ .

Для электродинамического анализа диполя Герца, ЭМП которого также не зависит от координаты  $\phi$ , было использовано СИП, определяемое через производную по координате  $z$  от продольной  $10$  поверхностной плотности тока  $d\eta/dz$  ( $dh_\phi/dz$ ) на вибраторе Герца при  $\rho = \rho_0 = a$ . Это СИП ЭМП диполя Герца при  $\rho \rightarrow a$ ,  $z \in [-1, 1]$  переходит в продольную составляющую поверхностной плотности тока  $\eta_z(h_\phi)$ , тем самым устраняя особенность в месте расположения диполя в общепринятой модели, для которой  $a=0$ .

В главе произведён электродинамический анализ ЭМП диполя Герца и показан переход ЭМП из колебательного состояния при  $r/\lambda_0 < 0.01$  ( $r$  — координата цилиндрической системы координат), когда магнитное и электрическое поля находятся в противофазных состояниях и разнесены в пространстве (рис. 1,а), в ЭМП с синфазными электрическим и магнитным полями при  $r/\lambda_0 > 10$  (рис. 1,б), когда наблюдается перенос мощности ЭМП от диполя Герца. Расчёты произведены при следующих параметрах:  $l/\lambda_0=1/400$ ;  $a/\lambda_0=1/4000$ ;  $\eta_z=1$  А/м. Предложенная новая физическая модель диполя Герца совместно с СИП ЭМП позволяют сделать вывод, что основные понятия излучения ЭМП (уравнения Максвелла, напряжённость электрического и магнитного полей, вектор Умова-Пойнтинга и др.) не противоречат разработанной нами теории диполя Герца в отличие от общепринятой теории.

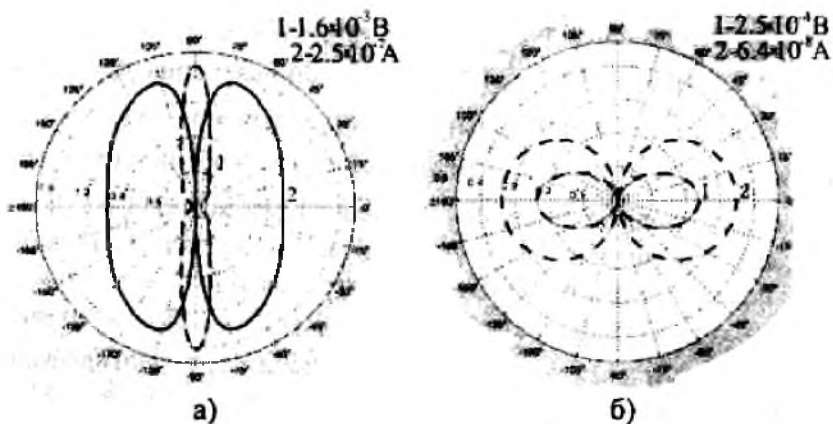


Рис.1. Распределение величин  $r/\lambda_0 aE_z$  (цифры 1) и  $r/\lambda_0 aH_\phi$  (цифры 2) ЭМП диполя Герца от координаты  $\Theta$  при различных расстояниях  $r = \sqrt{\rho^2 + z^2}$  от него: а)  $r/\lambda_0=0,3$ ; б)  $r/\lambda_0=10$  (сплошные линии – реальные части величин, пунктирные линии – мнимые части величин)

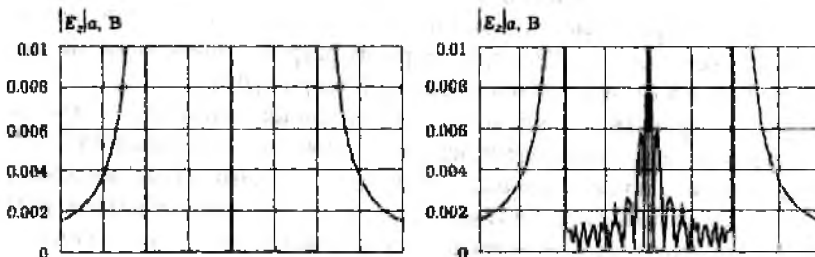


Рис 2. Сравнение результатов расчётов модуля составляющей  $E_z$ , ЭМП электрического вибратора самосогласованным методом (а) с общепринятым подходом (б) на его поверхности ( $\rho = a$ )

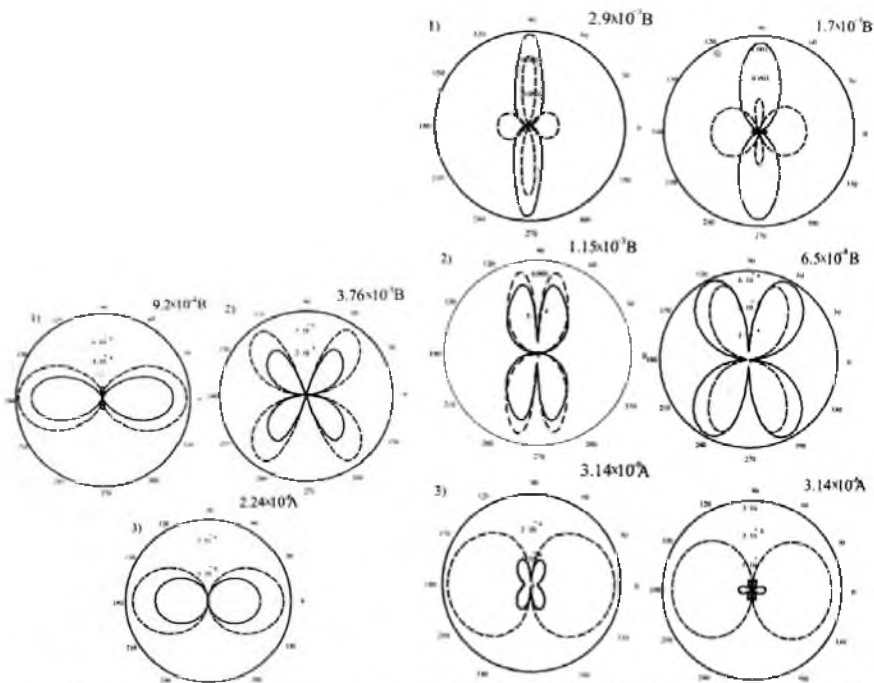


Рис.3. Распределение величин  $r/\lambda_0 aE_z$  (цифры 1) и  $r/\lambda_0 aE_r$  (цифры 2),  $r/\lambda_0 aH_\theta$  (цифры 3) для электрического вибратора от координаты  $\Theta$  при различных расстояниях  $r = \sqrt{\rho^2 + z^2}$  от него: а)  $r/\lambda_0=0,3$ ; б)  $r/\lambda_0=3,5$ ; в)  $r/\lambda_0=3$ , (сплошные линии – реальные части величин, пунктирные линии – мнимые части величин)

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДКВП ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ДИСКОВЫМ ПОДВИЖНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ

А.В. Зеленский, М.Н. Филимонова, А.С. Рогова  
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Конструктивно-технологический вариант линеаризации статической характеристики ДКВП перемещений с дисковым подвижным элементом поясняется на рис. 1. На рис. 1 показан разрез электромеханического блока ДКВП с дисковым подвижным элементом в нейтральном положении подвижных частей.

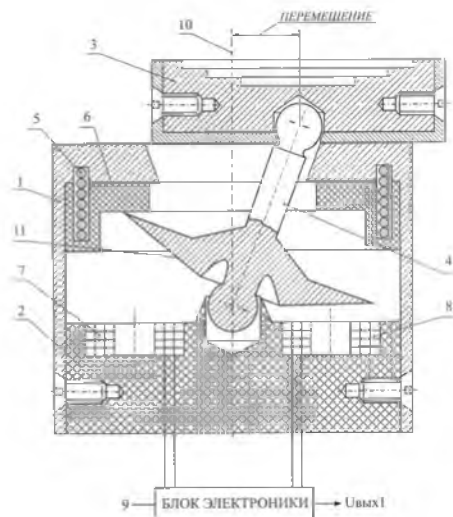


Рис. 1

На рис. 1 введены обозначения: 1- корпус; 2 - диэлектрическое основание; 3 -наконечник; 4- управляющий стержень; 5- цилиндрическая пружина; 6-ползун; 7,8- катушки индуктивности одного вихретокового чувствительного элемента катушки (катушки второго вихретокового чувствительного элемента расположены со смещением на  $90^\circ$  относительно катушек 7,8 и не показаны); 9 - один из двух идентичных блоков электроники. Кроме того, на рисунке 1 обозначено: 10 - ось корпуса 1; 11 - коническая поверхность электропроводящей дисковой части управляющего стержня 4.

Устройство работает следующим образом. В нейтральном положении управляющего стержня 4 коническая поверхность 11 электропроводящей дисковой части управляющего стержня 4 равноудалена от катушек индуктивности 7, 8, поэтому вносимые сопротивления в обеих катушках индуктивности 7, 8 равны между собой. Катушки индуктивности 7, 8 подключены к блоку электроники 9 по дифференциальной схеме; выходное напряжение блока электроники 9 равно нулю при нейтральном положении управляющего стержня 4.

На рис. 1 показан только один из двух блоков электроники 9, так как второй блок электроники подключается к двум катушкам индуктивности, не показанным на рис. 1.

При перемещении наконечника 3 управляющий стержень 4 поворачивается относительно оси 10 корпуса 1 и смещается вдоль оси 10 корпуса

1 (на рис. 1 показано смещение вверх) относительно нейтрального положения.

Одновременно ползун 6 поднимается вверх и сжимает цилиндрическую пружину 5. В этом случае коническая поверхность 11 приближается к катушке индуктивности 8 и удаляется от катушки индуктивности 7, что сопровождается увеличением вносимого сопротивления в катушке индуктивности 8 и уменьшением вносимого сопротивления в катушке индуктивности 7. Различие вносимых сопротивлений в катушках индуктивности 7, 8 преобразуется в блоке электроники 9 в выходное напряжение  $U_{\text{вых1}}$  пропорциональное перемещению наконечника 3.

Осевое смещение (вверх) управляющего стержня 4 при перемещении наконечника 3 приводит к тому, что коническая поверхность 11 приближается к катушке индуктивности 8 медленнее, чем удаляется от катушки индуктивности 7. За счет неравенства приращений зазоров осуществляется линейризация выходного напряжения блока электроники 9 от перемещения наконечника 3.

Если выбрать длину управляющего стержня такой, чтобы максимальное вертикальное смещение управляющего стержня соответствовало уравнению:

$$\left( \frac{\max \Delta h}{l_0 + 0,5D_{\text{em}}} \right) = 2,1(1 - \cos(\max \alpha)), \quad (1)$$

где  $D_{\text{вт}}$  – диаметр контура вихревых токов;

$l_0$  – расстояние от центра „0” до ближайшей точки на контуре вихревых токов;

$\alpha$  – угол наклона катушки вихретокового датчика,

то график зависимости выходного вносимого напряжения от нормированного линейного перемещения наконечника имеет вид, показанный на рис. 2.

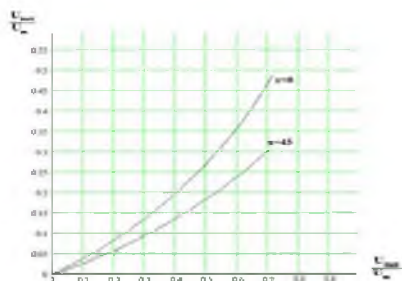


Рис. 2

Здесь нормированное линейное перемещение наконечника:



$$x_{\text{норм.лин}} = \frac{x}{I_0 + 0,5D_{\text{от}}}, \quad (2)$$

где  $x$  – перемещение наконечника в абсолютных значениях.

Анализируя влияние на погрешность нелинейности зависимости  $\frac{U_{\text{вых}}}{U_m}$  от

$x_{\text{норм.лин}}$ , Определим погрешность определяем относительно прямых:

$$\begin{aligned} \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_m} \right)_{11} &= 0,61x_{\text{норм.лин}} \quad \text{для } \chi = 0; \\ \left( \frac{U_{\text{вых}}}{U_m} \right)_{12} &= 0,4027x_{\text{норм.лин}} \quad \text{для } \chi = 45^\circ. \end{aligned} \quad (3)$$

Как видно из рисунков 2, 3 значения приведённой погрешности нелинейности, определённые таким образом, не превышают 8%. При этом годограф вносимых напряжений имеет вид, показанный на рисунке 3. Из анализа годографа видно, что погрешность в последнем варианте не превышает  $\pm 2,5\%$ .

#### Список использованных источников

1. Ухлинов Д.И. Двухкоординатные вихретоковые преобразователи механических величин с микропроцессорной коррекцией функции преобразования. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. – 142 с., ил.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РОСТА ТОНКИХ ПЛЕНОК ЗАДАННОЙ СТРУКТУРЫ

А.Н.Осипов, А.В. Архипов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В работе рассматривается компьютерное моделирование технологических процессов роста тонких поликристаллических алюминиевых пленок на диэлектрическом основании. Целью работы является создание программного продукта, позволяющего прогнозировать параметры растущей тонкой алюминиевой пленки в зависимости от параметров технологического процесса.

Структурное совершенствование тонких пленок позволяет решать вопросы, возникающие вследствие микроминиатюризации электронных изделий и, в том числе, позволяет достичь существенного увеличения плот-

ности тока, протекающего по пленочной металлизации. Все это, в конечном итоге, приводит к увеличению надежности изделий микроэлектроники.

Для построения модели был выбран метод вероятностных клеточных автоматов, который обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами, это:

- Возможность рассмотрения широкого спектра физико-химических процессов с единой методологической позиции.
- Естественный (без привлечения дополнительных средств) учет флуктуации параметров моделируемой системы.
- Наглядность результатов моделирования.
- Большая информационная емкость результатов моделирования.

Для моделирования был взят процесс осаждения тонкопленочных структур в вакууме при использовании метода термического испарения металла.

Была разработана физико-математическая модель. При этом считаем, что пленка растет по островковому механизму Фольмера-Вебера. Рассматриваются вопрос определения ориентации зародышей новой фазы на поверхности подложки, физические процессы роста тонких пленок, такие как; термодинамика адсорбированного слоя, процессы зародышеобразования, поверхностная миграция островков и их коалесценция. Также было уделено внимание стадии остальдовского созревания, поскольку именно на этой стадии в большей степени возможно управление структурой тонких пленок.

Рассматриваются базовые принципы, методика построения и программное обеспечение вероятностного клеточного автомата.

Проводится численное моделирование технологического процесса роста тонких пленок заданной структуры. В результате проведенных численных экспериментов получены следующие результаты: значения неравномерностей толщины пленки и плотностей границ зерен, полученные из численных экспериментов, колебались, в зависимости от условий роста, от  $\pm 14,1\%$  до  $\pm 28,85\%$  и от  $0,037$  до  $0,071$  соответственно.

Уделяется внимание вопросам экстраполяции результатов моделирования и оценки адекватности модели. Показано, что результаты моделирования носят неслучайный характер, поэтому данная модель применима для моделирования технологического процесса роста тонких пленок заданной структуры.

Использование клеточного автомата действительно позволяет наглядно представить результаты моделирования, что вкупе с численными величинами, характеризующими результат, поможет эффективно управлять технологическим процессом и структурой тонких пленок.

Стоит сказать, что проблема широкого производственного распространения метода вероятностного клеточного автомата связана не с трудно-

стями его построения как такового, а со сложностями определения количественных значений параметров, входящих в используемые им модели физико-химических процессов.

Аппарат клеточных автоматов в силу своей чрезвычайной наглядности и простоты восприятия результатов моделирования может быть с успехом применен в учебной практике для более глубокого изучения технологии микроэлектроники.

## **МЕТОДИКА ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

С.В. Тюлевин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для повышения надежности космической техники в последние годы широко используют различные методы индивидуального прогнозирования (ИП).

В данной работе предлагается методика ИП надежности космических радиоэлектронных средств. Она включает в себя следующие этапы:

1. Анализ методов индивидуального прогнозирования.
2. Предварительный выбор информативных параметров и параметров ИП.
3. Разработка методики исследовательских испытаний.
4. Обучающий эксперимент для выборки исследуемых изделий.
5. Окончательный выбор информативных параметров.
6. Выбор метода прогнозирования.
7. Разработка алгоритма индивидуального прогнозирования.
8. Разработка программы ИП.
9. Оценка качества программного продукта.
10. Разработка оператора индивидуального прогнозирования.
11. Оптимизация оператора ИП.
12. Разработка или выбор новых информативных параметров.
13. Оценка качества оператора ИП.
14. Разработка и аттестация рабочей методики прогнозирования.
15. Рабочее прогнозирование изделий исследуемого класса.

Кроме того, в ряде случаев, например при изменении конструктивно-технологического варианта изделий или при изменении условий их экс-

плуатации, методика может включать в себя дополнительные этапы: уточнение оператора ИП, определение уровней отбраковки, разработка рекомендаций по изменению технологии контроля, уточнение методики, эвристическое прогнозирование.

Данная методика была апробирована в ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» и показала высокую эффективность.

## **АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТОПРОВОДЕ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОСТИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ**

В.В.Иванов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Анализ процессов в магнитопроводе с учетом нелинейности очень сложен [1]. Некоторые задачи при синусоидальном возбуждающем электромагнитном поле можно решить предложенным в [2] методом, в котором зависимость индукции от напряженности магнитного поля заменяется зависимостью магнитной проницаемости от координаты. При расчете переходных процессов этот метод использовать нельзя, т.к. действующее значение магнитного поля зависит не только от координаты, но и от времени.

В [3] рассматривается расчет переходного процесса применительно к магнитопроводу, материал которого обладает эллиптической петлей гистерезиса. Эллипс является довольно грубой аппроксимацией петли гистерезиса особенно при постоянном подмагничивании.

Аппроксимация, более точно описывающая характер петли гистерезиса, приведена в [4]. Её применение позволяет рассчитывать динамические процессы перемагничивания магнитных сердечников при любой форме напряженности возбуждающего магнитного поля.

Используя эту аппроксимацию, рассчитаем производную от магнитного потока в тонкостенном цилиндре с малым воздушным зазором при возбуждении поля пилообразной магнитодвижущей силой.

Поле в тонкостенном цилиндре без учета краевых эффектов можно описать уравнением для магнитного поля в листе

$$\frac{\partial^2 H_z}{\partial x^2} = \sigma\mu \frac{\partial H_z}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $x$  - координата, перпендикулярная плоскости листа, с началом в его середине,  $z$  - координата, расположенная вдоль плоскости, листа и перпендикулярная воздушному зазору.

Как отмечено в [3], это уравнение пригодно для линейной среды, параметры которой постоянны. Уравнение для нелинейной среды подлежит модификации. Выражение (1) примет вид

$$\frac{\partial^2 H_Z}{\partial x^2} = \sigma \left( \mu + H \frac{\partial \mu}{\partial H} \right) \frac{\partial H_Z}{\partial t}.$$

Величина  $\mu_D = \mu + H \frac{\partial \mu}{\partial H}$  носит название [5] нелинейной магнитной проницаемости. Определим её, используя аппроксимацию [4] кривых намагничивания  $B(H)$  из произвольного магнитного состояния.

$$B(H) = \frac{B_{\max}}{b} \operatorname{th} \left[ b \left( \frac{H^*}{H_{\max}} - 1 \right) \right] - B_0,$$

где  $b = \operatorname{arch} \sqrt{\mu_{\max} / \mu_\alpha}$ ,  $\mu_\alpha$  - начальная магнитная проницаемость,  $\mu_{\max}$  - максимальная магнитная проницаемость,  $H_{\max}$  - напряженность магнитного поля при  $\mu = \mu_{\max}$ ,  $B_{\max} = \mu_{\max} H_{\max}$ ,  $H^* = [H - H_H]$ ,  $H_H$  - напряженность магнитного поля при смене знака её производной по времени,

$$B_0 = \frac{B_{\max}}{2b} \left\langle \operatorname{th}[-b] - \operatorname{th} \left[ b \left( \frac{2|H_H|}{H_{\max}} - 1 \right) \right] \right\rangle.$$

Производная по времени от магнитной индукции при этом

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\mu_{\max}}{ch^2 \left[ b \left( \frac{2|H_H|}{H_{\max}} - 1 \right) \right]} \frac{\partial H}{\partial t},$$

то есть

$$\mu_D = \frac{\mu_{\max}}{ch^2 \left[ b \left( \frac{2|H_H|}{H_{\max}} - 1 \right) \right]}.$$

При постоянном магнитном поле магнитные индукции в узком воздушном зазоре и магнитопроводе равны /5/. Индукция переменного поля в листе не постоянна по толщине. Для упрощения расчетов с достаточной точностью при узком воздушном зазоре можно принять, что на одинаковом расстоянии от средней линии магнитные индукции в зазоре и материале равны.

Обмотка возбуждения создает однородное внешнее поле напряженностью  $H_{\Pi}$ . для определения напряженности  $H$  на поверхности магнитопровода напишем закон полного тока, делая обход по поверхности цилиндра:

$$H_{\Pi} l = H_b l_b + H_{\Pi} (l - l_b),$$

$H_b$  – напряженность поля в зазоре,  $H$  – напряженность поля в материале,

$l$  – длина окружности цилиндра,  $l_b$  – величина зазора.

Учитывая, что  $H_b = B(H) / \mu_0$ , получим нелинейное уравнение

$$H = (H_{\Pi} l - B(H) l_b / \mu_0) / (l - l_b). \quad (2)$$

Из этого уравнения определяется напряженность  $H$  на поверхности магнитопровода при известном  $H_{\Pi}$ , созданном возбуждающей обмоткой.

В /5/ дано рекуррентное соотношение для расчёта на ЭВМ напряженности магнитного поля в листе.

$$H_{i+1,j} = \frac{k}{\delta^2 \sigma \mu_D} (H_{i,j+1} + H_{i,j-1}) + \left( 1 - \frac{2k}{\delta^2 \sigma \mu_D} \right) H_{i,j}, \quad (3)$$

где  $k$  и  $\delta$  – величина шагов соответственно по времени и глубине,  $i$  и  $j$  – номера шагов по времени и глубине.

Приведем все параметры к безразмерному виду.

$$\bar{B} = B / B_{\max}; \quad \bar{H} = H / H_{\max};$$

$$\bar{\mu} = \mu_D / \mu_a; \quad \bar{t} = t / A^2 \sigma \mu_a; \quad k / \delta^2 \sigma \mu_D = \bar{k} n^2 / \bar{\mu},$$

где  $n$  – число шагов по глубине.

Рекуррентная формула (3) примет вид

$$H_{i+1,j} = \left( H_{i,j+1} + H_{i,j-1} \right) \frac{\bar{k}n^2}{\mu_{i,j}} + \left( 1 - 2 \frac{\bar{k}n^2}{\mu_{i,j}} \right) H_{i,j}.$$

Для вычисления производной по времени от магнитного потока, пропорциональной ЭДС на выходной обмотке,

$$\frac{d\bar{\Phi}}{dt} = (\bar{\Phi}_i - \bar{\Phi}_{i-1})/k.$$

где  $\bar{\Phi}_i = \Phi / B_{\text{макс}} S$ ,  $S$  - площадь сечения магнитопровода.

На каждом шаге  $i$  необходимо вычислять

$$\begin{aligned} \bar{\mu}_{i,j} &= \frac{\mu_{\text{макс}}}{\mu_a ch^2 \left[ b \left( \bar{H}_{i,j} - \bar{H}_H - 1 \right) \right]}, \\ \bar{B}_0 &= 0.5b^{-1} \left[ th(-b) + th\left( b \frac{2}{|\bar{H}_H|} - 1 \right) \right], \\ \bar{B}_{i,j} &= b^{-1} th \left[ b \left( \bar{H}_{i,j} - \bar{H}_H - 1 \right) \right] - B_0, \\ \bar{\Phi}_{i,j} &= \left( \bar{B}_{i,0} + \sum_{j=1}^{n-1} 2\bar{B}_{i,j} + \bar{B}_{i,n} \right) / 2n. \end{aligned}$$

Поле на поверхности магнитопровода определяется из нелинейного уравнения

$$\bar{H}_0 = \bar{H}_{\text{п0}} (\bar{t} - 1) - \bar{B}(\bar{H}_0) \frac{l_b \mu_{\text{макс}}}{l \mu_a};$$

которое получено на основе (2) с учетом того, что  $1 \gg l_b$ .

Отношение максимальной магнитной проницаемости к начальной для пермаллоев 50Н, 79ЕМ, 80ЕМ соответственно равно 9, 5, 10. При расчетах примем  $\frac{\mu_{\text{макс}}}{\mu_a} = 10$ .

Воздушный зазор в датчиках выбирают таким образом, чтобы влияние ферромагнитного материала составляло менее 1 - 10%.

Рассмотрим худший случай, когда  $\frac{l_b \mu_{\text{макс}}}{l \mu_0} = 100$ . Т.е. влияние магнитопровода составляет 10% при магнитной проницаемости равной  $\mu_a$ .

Результаты расчета приведены на рис. 1.

На этом же рисунке даны результаты расчета производной по времени от потока при двух постоянных магнитных проницаемостях, равных  $\mu_a$  и  $\mu_{\max}$ . Программа расчета Производной для линейного плоского магнитопровода приведена в приложении.

На начальном участке, как видно из рис.1, нелинейный магнитопровод по характеру переходного процесса наиболее близок к магнитопроводу с постоянной магнитной проницаемостью, равной  $\mu_a$ , однако амплитуды выходного сигнала при этом отличаются на 30%.

В области больших времен при  $t > 0,3 A^2 \sigma \mu_{\max}$  переходные процессы в магнитной цепи с нелинейным магнитопроводом и с магнитопроводом, у которого магнитная проницаемость постоянна и равна  $\mu_{\max}$ , отличаются не более чем на 10%.

Выбор  $\mu$  при расчетах зависит от того, какой участок переходного процесса нас больше всего интересует.

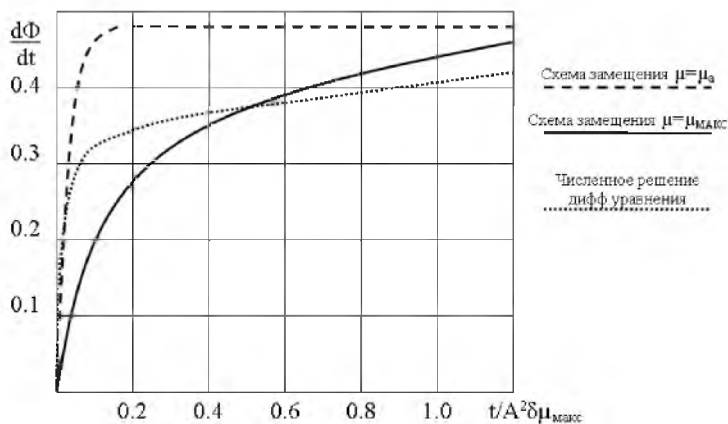


Рис. 1. ЭДС на выходной обмотке при разных методах расчёта

### Список использованных источников

1. Поливанов К.М. Теория электромагнитного поля. – М.: Энергия, 1975.
2. Нейман Л.Р. Поверхностный эффект в ферромагнитных телах. - : Госэнергоиздат, 1949.
3. Герасимович А.Н. Расчёт электромагнитных процессов в магнитопроводе при его намагничивании напряжением любой формы. Изв. Вузов. Энергетика, 1983, №3.



4. Крохин В.В., Маслов Ю.Н., Пирогов А.И., Хитрук О.И. Методика расчёта процессов перемагничивания магнитных сердечников в динамическом режиме. - Изв. Вузов СССР, Приборостроение, 1984, т.27, №4.
5. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. – М.: Энергия, 1968.

## ЭЛЕМЕНТЫ ОПТИМИЗАЦИИ НА БАЗЕ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

А. Д. Краснощеков, П. А. Кулагин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Эффективность деятельности предприятий и регионов зависит от качества управленческих решений. Проблема принятия решений носит фундаментальный характер, что определяется ролью, которую играют решения в любой сфере человеческой деятельности.

В условиях конкуренции для усиления позиций предприятия актуальность приобретают вопросы повышения научной обоснованности, качества и оперативности принимаемых управленческих решений.

Для достижения значительных успехов в разработке теории и практики организации управления и принятия решений на транспорте могут быть использованы имитационные модели (ИМ).

На некотором уровне управления функционирование ИМ с позиций оптимизаций может быть описано следующим образом. В качестве объекта управления рассматриваются представленные в компьютере ИМ. Имеется некоторое число решателей  $R_k$  ( $k=1, k$ ) того или иного типа, от действий которых при заданных начальных условиях зависит все развитие процесса. Состояние ИМ в любой момент времени может быть описано достаточно большим набором переменных, из которых контролируется только некоторая часть называемая *фазовыми переменными*  $x_i$ . Значения фазовых переменных имеются в конкретных точках сети. В случайные моменты времени  $t_i$  в том или ином решателе возникают конфликтная ситуация, разрешаемая путем принятия решения этим решателем.

Заранее известен набор решений  $(r)_k$  для каждого решателя  $R_k$ , которыми он может пользоваться при разрешении возникающих в сфере его действия конфликтных ситуаций. Конкретный набор решений  $(r)_k$  определяется типом решателя.

Различают 3 последовательности событий в процессе функционирования ИМ.

1. Последовательность моментов имитации (ось времени моделирования)  $t=1, 2, \dots, T$ .

2. Последовательность моментов  $t_\delta$  изменений фазовых переменных  $x_i$ ,  $\delta=1,2,\dots,\Xi$ .

3. Последовательность моментов  $t_\tau$  срабатывания решателей,  $\tau=1,2,\dots,T$ .

Последовательности  $\{t_\delta\}$  и  $\{t_\tau\}$  имеют случайный характер. Значения фазовых переменных сложным образом зависят от всей предыстории процесса и начальных условий. Аналитический вид этой зависимости неизвестен.

Задача оптимизации состоит в определении оптимальной, в смысле заданного критерия, последовательности таких решений в  $R_k$ . Качество управления оценивается величиной функционала, вычисляемого па векторе значений фазовых переменных в конечный момент времени  $T$ . Рассмотренная задача является задачей оптимизации конечного состояния системы.

В процессе перемещения дискретных объектов на сети имеется огромное число точек воздействия или точек управления. Решения, которые принимаются в этих точках, оказывают влияние на весь последующий ход процесса по времени. Такими точками являются точки ветвления потока и точки выбора объектов из очереди на обслуживание. В этих точках в ИМ располагаются решатели. На транспорте точки ветвления потока первоначально были названы *замечательными точками сети*. В настоящее время идея об ограниченности точек воздействия на систему, в частности на социально-экономическую систему прослеживается в работах по системной динамике. Решатели, используемые в ИМ,— это операторы специального вида, реализуемые в виде программы со свободным полем памяти, заполняемым извне перед каждым вариантом имитации процесса. В точках ветвления потока будем располагать решатели *B-типа* ( $R(B)$ ), в точках выбора объектов на обслуживание — решатели *П-типа* ( $R(П)$ ). В этих же последних точках может располагаться третий тип решателей — решатели *К-типа*, осуществляющие составление сложных дискретных объектов из более простых. Решатели К-типа могут формировать составы на железнодорожном и водном транспорте, организовывать групповое обслуживание транспортных единиц в «узких местах», например при проходе через мосты, затрудненные участки пути, шлюзованные каналы и т.п. Па рис.1 графически проиллюстрирована работа решателей В-типа (а), П-типа (б), К-типа (в) на потоке дискретных объектов.

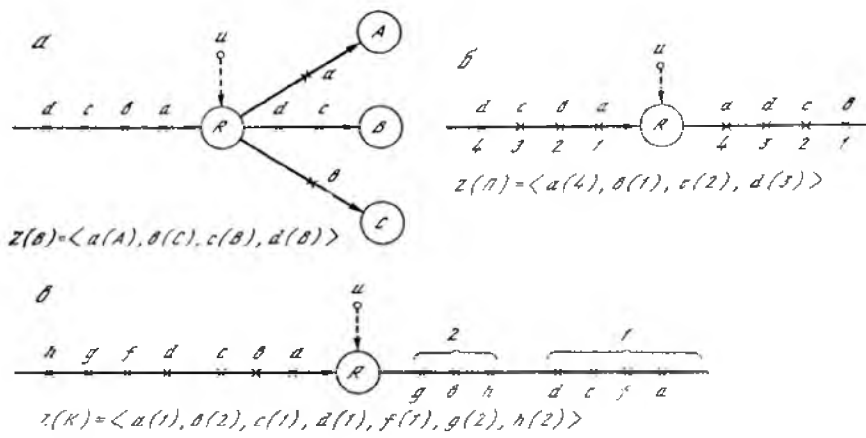


Рис. 1. Работа решателей В-типа.

Решатели характеризуются своим вектором управления, содержащим информацию, которая заносится перед началом работы ИМ в свободное поле памяти программы решателя. Вектор управления, или вектор заполнения, решателя задается в виде *кортежа* Z. Кортеж Z решателя В-типа состоит из номеров вершин-адресатов, кортеж решателя П-типа содержит указания, какие дискретные объекты с каким приоритетом должны выбираться из очереди па обслуживание. Указания могут быть персонифицированы с точностью до конкретного объекта либо относиться к целому классу дискретных объектов. В решателе В-типа адреса назначения присваиваются дискретным объектам одного типа по мере завершения ими обслуживания.

Решатели К-типа в моделях  $M_2$  – имитационная модель для построения расписания движения объектов на сети и  $M_3$  – ИМ для корректировки расписания движения объектов на сети не используются, поэтому здесь подробно не рассматриваются. Перечень вариантов задания решателей, как и самих типов решателей, может быть продолжен.

Рассмотрим задачу распределения решателей по уровням управления. В результате процедуры замещения структурных элементов концептуальной схемы модели  $M_1$  – модель формирования структуры оперативной сети структурными элементами моделей имитации (рис.2) может быть сформирована диаграмма состояний  $D_0$ , содержащая все виды решателей, используемых на дискретном уровне управления. Имеется, однако, определенное соответствие между типами решателей и теми задачами, которые могут решаться с их помощью на базе ИМ. В частности решатели ветвления весьма характерны при построении расписания.

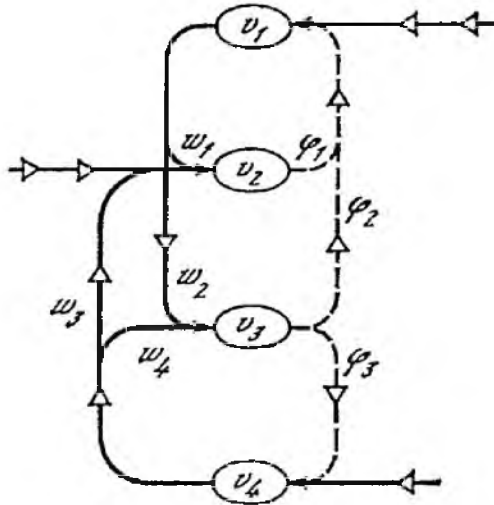


Рис.2. Модель формирования структуры оперативной сети

Решатели П-типа могут оказывать лишь некоторое корректирующее воздействие на траекторию движения того или иного объекта на сети и т.д. В связи с этим вслед за постановкой тех или иных задач управления на базе ИМ возникает задача «прикрепления к ним» соответствующих типов решателей. После ее решения возникает задача согласования режимов работы решателей, используемых в ИМ на разных уровнях управления.

В соответствии с динамическими структурами предложенной ранее иерархии моделей  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$  в работе имитационных моделей можно выделить три различных режима.

1. Основной режим, в ходе которого на базе  $M_v$  решается оптимизационная задача  $v$ -го уровня управления.

2. Режим коррекции ранее полученного решения задачи  $v$ -го уровня. Особенность режима состоит в том, что задача оптимизации решается с учетом ранее полученных решений, при этом стремятся получить новое решение, не слишком отличное от старого.

3. Режим одновариантной экстраполяции процесса, когда стоит задача определения последствий действовавших возмущений.

Перечисленными режимами использования ИМ<sub>v</sub> в иерархии определяются режимы работы решателей в модели  $v$ -го промежуточного уровня управления.

1. Режим оптимизации, когда ИМ<sub>v</sub> работает во взаимодействии с той или иной процедурой оптимизации, изменяющей заполнение решателей после каждого шага оптимизации.

2. Режим координации, возникающий по всех тех случаях, когда решатель используется в ИМ с некоторым зафиксированным, ранее найденным заполнением. В режиме координации в ИМ<sub>v</sub>, v-го уровня работают не все решатели, которые не участвуют в решении оптимизационной задачи v-го уровня, но присутствуют в модели для восприятия управляющих воздействий с вышележащего уровня иерархии для передачи таких воздействий на нижележащий уровень иерархии.

В ИМ, содержащей решатели в качестве средства управления, могут быть реализованы различные промежуточные режимы, когда в активную работу включаются не все решатели одного типа, а только часть их и т.д.

На основе изложенных представлений решатели можно расценивать как гибкое средство решения задач управления комбинаторного типа, позволяющее синтезировать в ИМ большое разнообразие процедур и методов поиска решений с учетом накопленного практического опыта и эвристик.

В иерархии моделей M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> задача z<sub>2</sub> решается с использованием решателей В-типа, а z<sub>3</sub> — решателей П-типа. Другие типы решателей в моделях M<sub>2</sub> и M<sub>3</sub> не используются. Соответствие между режимами моделей M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> и режимами решателей R(В) и R(П) показано в таб 1.

Таблица 1. Соответствие между режимами модели и решателя

Режим решателей	Режим ИМ					
	M <sub>2</sub>			M <sub>3</sub>		
	Оптимизация	Коррекция	Экстраполяция	Оптимизация	Коррекция	Экстраполяция
Оптимизация	R(В)	R(В)	-	R(П)	R(П)	-
Координация	R(П)	R(П)	R(В)	R(В)	R(В)	R(В)
			R(П)			R(П)

В процессе решения задач z<sub>2</sub>, z<sub>3</sub> ищутся такие заполнения решателей В- и П-типов, при которых оптимизируются критерии оптимизации поставленных задач.

Можно указать ряд общих черт приведенных задач оптимизации. Обе они являются задачами оптимизации конечного состояния и относятся к классу задач дискретного управления. В них не делается допущений о независимости или слабом влиянии предыстории процесса на развитие события в будущем. В приведенных задачах решение описывается с учетом факта последействия. Рассматриваемые в этих задачах процессы не имеют аналитического описания и представляются в ЭВМ в виде ИМ. Области решений

заданы как комбинаторные множества  $U$ . Можно указать два основных подхода к решению задач рассматриваемого типа. Эти подходы связываются с понятиями одно- и многошаговой оптимизации. Одношаговая оптимизация понимается здесь следующим образом. Если тем или иным способом определить заполнение решателей  $R_k$ , то, располагая имитационной моделью, можно получить один вариант функционирования ИМ на отрезке  $0—T$ . По аналогии с задачами одношаговой оптимизации можно считать, что заполнением решателей задается некоторая точка в пространстве оптимизации. Каждой такой точке ставится в соответствие матрица  $U_s$ , строками которой являются заполнения решателей  $R_k$ . Матрицу  $U_s$  будем называть *матрицей управления*.

При многошаговой оптимизации задача решается путем последовательного во времени принятия решений в решателях. Решения принимаются по мере возникновения конфликтных ситуаций. Задача оптимизации состоит в том, чтобы для каждого решателя с учетом имеющихся ограничений найти такие последовательности решений, при которых критерий оптимизируется. Основные трудности, которые возникают на этих путях, рассмотрим на примере задач  $Z_2$  и  $Z_3$ .

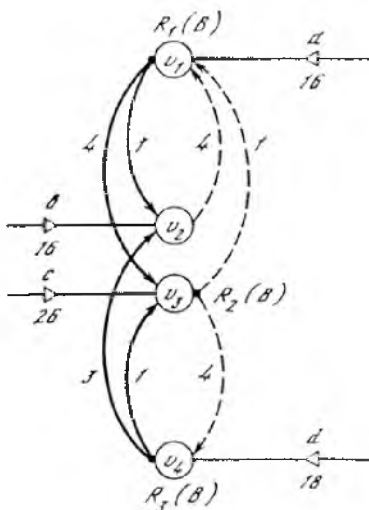


Рис.3. Транспортная сеть

Рассмотрим транспортную сеть, заданную в виде графа (рис.3) с нанесенной начальной дислокацией подвижных объектов и потребным числом отправок, которое нужно осуществить по трассам сети за время  $0—T$ .

Матрицы управления  $U_s^{(2)}$  и для задачи  $z_2$  имеют вид:

$$U_1^{(2)} = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 3 & 3 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 1 & 4 \\ 2 & 2 & 2 & 3 & \blacksquare \end{pmatrix}, \quad U_2^{(2)} = \begin{pmatrix} 3 & 3 & 2 & 3 & 3 \\ 1 & 4 & 4 & 4 & 4 \\ 2 & 3 & 2 & 2 & \blacksquare \end{pmatrix};$$

где строки матриц – заполнения решателей  $R_1(B)$ ,  $R_2(B)$ ,  $R_3(B)$ ; элементы строка – номера вершин назначения.

Реализовав с помощью ИМ в задаче  $z_2$  матрицу  $U_s^{(2)}$ , получим некоторый план  $\Pi(v_i)$  прибытия объектов в каждую вершину. Для  $U_s^{(2)} = U_1^{(2)}$  план прибытия имеет вид  $\Pi(v_1) = \langle a, b, d, b, c \rangle$ ;  $\Pi(v_2) = \langle b, d, a, c, a \rangle$ ;  $\Pi(v_3) = \langle c, d, a, b \rangle$ ;  $\Pi(v_4) = \langle d, c, a, d \rangle$ . Для задачи  $z_3$  матрица управления при значениях приоритета  $p = \{1, 2, 3\}$  принимает вид:

$$U_1^{(3)} = \begin{pmatrix} a(1) & b(1) & d(2) & b(1) & c(2) \\ b(2) & d(1) & a(3) & c(1) & a(1) \\ c(1) & d(1) & a(2) & b(1) & \blacksquare \\ d(2) & c(2) & a(1) & d(2) & \blacksquare \end{pmatrix},$$

где стоящий в скобках элемент  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца есть величина приоритета, с которым объект, прибывая  $j$ -м по порядку, проходит обслуживание в  $i$ -й вершине.

Приведенные матрицы управления трудно упорядочить, в результате в условиях одношаговой оптимизации область изменения переменных задается в виде неупорядоченных множеств  $U^{(2)}$ ,  $U^{(3)}$  соответственно для задач  $z_2$ ,  $z_3$ .

Мощность множества  $U^{(2)}$  для однослойной сети может быть оценена по формуле:

$$\prod_{k=1}^K \left[ \frac{Q_k!}{\prod_{\lambda=1}^{\Lambda_k} (Q_\lambda)^k} \right],$$

где  $Q_k$  — число заполненных мест в  $k$ -й строке матрицы  $U_s^{(2)}$ ;  $K$ -число строк матрицы  $U_s^{(2)}$ ,  $k=1, K$ ;  $Q_\lambda$  — число мест в  $k$ -й строке матрицы  $U_s^{(2)}$ , занятых  $\lambda$ -м номером,  $\lambda=1, \Lambda_k$ ;  $\Lambda_k$  - число различных номеров в  $i$ -й строке матрицы.

Для поминальной сети, состоящей из 10 слоев, содержащих 34 решателя со средней длиной заполнения, равной 6, степенью ветвления  $\Lambda_k=2, 4$ ,

мощность пространства управления составляет  $3 \cdot 10^{43}$ . Мощность множества  $U^{(3)}$  для однослойной сети оценивается формулой:

$$\prod_{i=1}^I P^{N_i},$$

где  $N_i$  — число заполненных мест в  $i$ -й строке матрицы управления  $U_s^{(3)}$ ;  $P$  — число значений приоритета;  $I$  — число строк матрицы  $U_s^{(3)}$ .

В настоящее время не представляется возможным говорить о предпочтительности сведения рассмотренных задач  $z_2, z_3$  к задачам одношаговой или многошаговой оптимизации. Можно лишь заметить, что решение задачи оптимизации конечного состояния системы в случае использования многошаговой процедуры требует разработки локального критерия, достаточно хорошо коррелированного с критерием, описывающим конечную ситуацию. В связи с дополнительной сложностью этой задачи предпочтительнее работать непосредственно с конечной ситуацией и использовать процедуры одношаговой оптимизации конечного состояния на сети.

#### Список использованных источников

1. Рыбников К.А. Введение в кибернетический анализ. МГУ.
2. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. Прогресс.
3. Краснощеков А.Д. Межуровневая координация задач регионального развития. Сборник научных трудов. Одесса, 2006.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В.Н. Нестеров

Самарский государственный технический университет, г. Самара

В последние годы одной из актуальных задач стала задача обеспечения надёжности сложных технических систем ответственного назначения, отказы которых связаны с большими материальными потерями или катастрофическими последствиями [1].

Доминирующий в теории надёжности вероятностно-статистический подход не позволяет найти достаточно эффективные пути решения этой проблемы. Это связано с тем, что в его основе лежит предположение о статистической однородности и массовости изучаемых отказов. Высокая цена отказов в этом случае заставляет ставить задачу их предотвращения при длительной эксплуатации таких систем при различных состояниях внут-



ренных и внешних воздействующих факторов. В этом случае требуется индивидуальный подход к её решению.

В работе [2] для прогнозирования показателей надёжности систем с длительным сроком применения предлагается подход, основанный на положениях нечётких множеств. Его особенностью является то, что элементами нечётких множеств являются модели регрессий. В качестве последних предлагается учитывать все мыслимые модели на основе оценок их функций принадлежности нечёткому множеству. Для этого предлагается аппарат шкалирования моделей на основе исходной информации, синтеза обобщённых моделей с учётом всего ансамбля исходных моделей и их функций веса.

В ряде случаев такой подход оправдан и если выявлены информативные параметры, то для прогнозирования может быть использован алгоритм, предложенный в [3]. Однако для определённого класса сложных систем более целесообразно использовать функционально – параметрический подход [4]. В рамках такого подхода задача предотвращения отказов решается на основе контроля технического состояния исследуемой системы, прогнозирования его изменения в процессе эксплуатации и профилактической коррекции определяющих параметров системы в определённые промежутки времени.

В данной работе рассмотрен алгоритм индивидуального прогнозирования параметров элементов управляющих систем. Он обладает свойством оптимальности, однозначности и несмещённости.

#### Список использованных источников

1. Абрамов О.В. Обеспечение безотказности систем ответственного назначения // Надёжность и качество – 2000: Труды междунар. симпозиума. – Пенза, 2000. – С. 17 – 19.
2. Рыжаков В.В. Прогнозирование показателей надёжности на основе положений нечётких множеств // Надёжность и качество 2000: Труды междунар. симпозиума. – Пенза, 2000. – С. 15 – 17.
3. Голубев Ю.С. Прогнозирование качества элементов на основе регрессионной модели // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Матер. всеросс. НТК. – Самара: СГАУ, 2005. – С. 158 – 159.
4. Абрамов О.В. Функционально – параметрический подход в задачах обеспечения надёжности технических систем // Надёжность и контроль качества. – 1999. – №5. С. 34 – 35.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ БОРТОВЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.В. Тюлевин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одним из направлений повышения надёжности и увеличения срока активного функционирования бортовых радиотехнических систем является индивидуальное прогнозирование (ИП) их основных параметров. В этом случае по величине информативного параметра и полученному по результатам обучающего эксперимента оператору прогнозирования делается вывод о потенциальной надёжности каждого конкретного экземпляра, т.е. о возможности его использования по назначению в течение заданного срока службы [1]. Однако в ряде случаев выявить достаточно информативный параметр не удаётся. В данном случае для ИП целесообразно использовать методы экстраполяции [2]. Для этого требуется знание математической модели изменения параметров элементов и устройств во времени. Основная проблема здесь состоит в том, что для каждого конструктивно-технологического варианта (КТВ) изделия требуется своя модель. Анализ отказов элементов бортовых радиотехнических систем показал, что для многих КТВ элементов операторы прогнозирования и математические модели отсутствуют. К ним относятся некоторые типы резисторов, диодов, транзисторов, конденсаторов, микросхем.

Целью данной работы является построение математических моделей ИП указанных элементов.

Для построения модели был проведён обучающий эксперимент для шести выборок. Он проводился по методике [3]. Выявить информативные параметры с приемлемым значением коэффициента корреляции не удалось. В связи с этим для дальнейшего анализа был использован метод экстраполяции.

Для оценки значения параметра каждого экземпляра выборки на момент времени прогноза  $t_{np}$  на основании совокупности значений параметра  $y^{(j)}(t)$ , измеренных в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_n$ , должен быть построен параметр  $H_y$  следующего вида [4]:

$$y^{*(j)}(t_{np}) = H_y[y_j(t_1), y_j(t_2), \dots, y_j(t_n)], \quad (1)$$

где  $t_n \ll t_{np}$ .

Таким образом, задача сводилась к выбору квазидетерминированной (КД) модели  $f_{\kappa\delta}$  и определению её коэффициентов  $a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, \dots, a_m^{(j)}$  для каждого экземпляра выборки. В этом случае оценка значения параметра  $y^{*(j)}(t_{np})$  может быть определена следующим образом

$$y^{*(j)}(t_{np}) = f_{\kappa\delta}[t_{np}, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, \dots, a_m^{(j)}]. \quad (2)$$

Анализ экспериментальных данных обучающих выборок показал, что флуктуационная составляющая случайного процесса  $\tilde{y}_{\phi n}(t)$  не существенна по сравнению с монотонной составляющей  $y_{\text{мон}}^{(j)}(t)$  этого процесса. Ограничимся для нашего случая тремя дополнительными аргументами квазидетерминированной функции  $a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, \dots, a_m^{(j)}$ . Тогда моделью случайного процесса будет функция вида

$$f_{\kappa\delta}(t_{np}, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}) = y^{*(j)}(t_{np}). \quad (3)$$

Вспользуемся для определения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2$  методом наименьших квадратов. В нашем случае сущность метода сводится к нахождению таких значений  $a_0, a_1, a_2$  выбранной зависимости  $f_{\kappa\delta}$ , при которых сумма квадратов отклонений значений параметров  $j$ -го экземпляра, вычисленная по КД модели  $y^{*(j)}(t_i)$ , от фактических значений  $y^{(j)}(t_i)$ , будет минимальной, т.е.

$$\sum_{i=1}^k [y^{(j)}(t_i) - f_{\kappa\delta}(t_i, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})]^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Сумма (4) представляет собой функцию трёх переменных (трёх коэффициентов КД модели)

$$U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}) = \sum_{i=1}^k [y^{(j)}(t_i) - f_{\kappa\delta}(t_i, a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})]^2. \quad (5)$$

Минимум этой функции достигается при таких  $a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}$ , при которых её частные производные обращаются в нуль. Для определения  $U_{\min}^{(j)}$  получаем систему из трёх уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})}{\partial a_0^{(j)}} &= 0; \\ \frac{\partial U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})}{\partial a_1^{(j)}} &= 0; \\ \frac{\partial U(a_0^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)})}{\partial a_2^{(j)}} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Решение данной системы будет иметь следующий вид

$$\left. \begin{aligned} a_o^{(j)} &= f_o[t_1, t_2, \dots, t_n, y^{(j)}(t_1), y^{(j)}(t_2), \dots, y^{(j)}(t_n)]; \\ a_1^{(j)} &= f_o[t_1, t_2, \dots, t_n, y^{(j)}(t_1), y^{(j)}(t_2), \dots, y^{(j)}(t_n)]; \\ a_2^{(j)} &= f_o[t_1, t_2, \dots, t_n, y^{(j)}(t_1), y^{(j)}(t_2), \dots, y^{(j)}(t_n)]. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Таким образом, решением системы (6) являются коэффициенты  $a_o, a_1, a_2$  КД модели. Подставив полученные значения  $a_o^{(j)}, a_1^{(j)}, a_2^{(j)}$  в (2) получим оценку значения параметра  $y^{*(j)}$  в момент времени  $t_{np}$ .

Для описания временной зависимости дрейфа сопротивления исследуемых выборок элементов была подобрана логарифмическая модель

$$y^{*(j)}(t_{np}) = a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(t_{np} - t_n) + e], \quad (8)$$

где  $t_n$  – время, соответствующее номеру измерения (соответствует времени старения элемента) в процессе наблюдения за дрейфом.

Особенностью данной модели является то, что функция  $f_{кд}$  в начальный момент времени равна

$$f_{кд}(t_1, a_o^{(j)}, a_1^{(j)}) = a_o^{(j)}$$

и зависит только от двух коэффициентов  $a_o$  и  $a_1$ . Таким образом, для прогнозирования необходимо будет определить лишь коэффициент  $a_1$ . Так как  $a_o^{(j)} = y^{(j)}(t_o)$ , а для логарифмических моделей  $a_o^{(j)} = y^{(j)}(t_1)$ , то сумма (4) будет представлять собой функцию одной переменной. Обозначим её как  $g(a_1^{(j)})$ . Тогда её можно записать как

$$g(a_1^{(j)}) = \sum_{i=1}^n [y^{(j)}(t_i) - f_{\kappa\partial}(t_i, y^{(j)}(t_1), a_1^{(j)})]^2, \quad (10)$$

где  $i=1, 2, \dots, n$  – количество измерений. Для логарифмической модели минимум функции будет в следующем случае

$$\begin{aligned} \frac{\partial g(a_1^{(j)})}{\partial a_1^{(j)}} = 2 \left[ \sum_{i=1}^k \frac{(a_1^{(j)})^2 (t_i - t_1) \ln \{ a_1^{(j)} (t_i - t_1) + e \}}{a_1^{(j)} (t_i - t_1) + e} - \right. \\ \left. - \sum_{i=1}^k \frac{a_1^{(j)} (t_i) (t_i - t_1)}{a_1^{(j)} (t_i - t_1) + e} \right] = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Полученная модель вида (8) подвергалась экзамену. Он заключался в определении ошибки прогнозирования по формуле

$$\Delta(j) = \tilde{y}^{(j)}(t_{np}) - y^{*(j)}(t_{np}). \quad (12)$$

Затем оценивали точность прогнозирования (точность оператора ИП) по величине дисперсии ошибки. Она вычислялась по формуле

$$D[\tilde{y}_{np}^{(j)} - y_{np}^{*(j)}] = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k [\Delta^{(j)} - M(\Delta)]^2, \quad (13)$$

где  $\tilde{y}_{np}^{(j)} = \tilde{y}^{(j)}(t_{np})$ ;  $y_{np}^{*(j)} = y^{*(j)}(t_{np})$ .

$M(\Delta)$  – среднее значение ошибки (математическое ожидание) для выбранной КД модели. Оно определялось по формуле

$$M(\Delta) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \Delta^{(j)}. \quad (14)$$

Если величина дисперсии ошибки

$$D[\Delta] = D[\tilde{y}_{np} - y_{np}^*],$$

согласуется с установленными требованиями, то полученную модель можно рекомендовать для прогнозирования параметров качества экземпляров других выборок.

В дальнейшем для оценки качества прогнозирования определяли величину второго начального момента  $m_{2(k)}$  по формуле

$$m_{2(k)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (\Delta_k^{(j)})^2, \quad (15)$$

где  $\Delta_k^{(j)} = y^{(j)}(t_{np}) - y^{*(j)}(t_{np})$ .

Чем меньше  $m_{2(k)}$ , тем выше точность прогнозирования. Было установлено, что на величину  $m_{2(k)}$  большое влияние оказывает систематическая ошибка. Эта ошибка устранялась введением в модель поправки вида

$$y_1^{*(j)}(t_{np}) = y^{*(j)}(t_{np}) + \Delta_k^{(1)}, \quad (16)$$

где  $\Delta_k^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta_k^{(j)}$ .

После нахождения  $y_1^{*(j)}(t_{np})$  определяли  $m_{2(k)}^{(2)}$  и отклонения  $\Delta_k^{(2)}$ .

Для моделей (15), которые не устраивали нас по точности, вводили добавку  $\delta$  в следующем виде

$$y_2^{*(j)}(t_{np}) = a_o^{(j)} \ln[(a_1^{(j)} + \delta \frac{a_1^{(j)}}{a_{1\max}})(t_{np} - t_n) + e], \quad (17)$$

где  $a_{1\max}$  – максимальное значение коэффициента  $a_1$  для исследуемой выборки;

$$\delta = \frac{1}{n} (A_1^{(j)} - a_1^{(j)}), \quad A_1^{(j)} = a_1^{(j)} \text{ при } t = t_{np}.$$

Если модель вида (17) не обеспечивала заданной точности, то в неё вводили поправку  $\Delta_k^{(3)}$ :

$$y_3^{*(j)}(t_{np}) = y_2^{*(j)}(t_{np}) + \Delta_k^{(3)}. \quad (18)$$

Для некоторых моделей (18) проводилось улучшение следующим образом

$$y_4^{*(j)}(t_{np}) = y_2^{*(j)} + \Delta_k^{(3)} \frac{y_2^{*(j)}(t_{np})}{y_{2\max}^*}, \quad (19)$$

где  $y_{2\max}^*$  – максимальное значение их всех  $y_2^{*(j)}(t_{np})$ .

В результате сравнения полученных вариантов по точности для прогнозирования электрорадиоизделий исследуемого класса целесообразно использовать следующие модели:

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_1(j) = a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(1 - \frac{0,018}{0,071})(10000 - 500) + e] - 0,348 \frac{y_2^{*(j)}}{y_{2 \max}};$$

$$\left(\frac{\Delta Y}{Y}\right)_2(j) = a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(1 - \frac{0,005}{0,027})(10000 - 250) + e] - 2,792 \frac{y_2^{*(j)}}{y_{2 \max}};$$

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right)_3(j) = a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(1 - \frac{0,032}{0,096})(10000 - 500) + e] - 0,211;$$

$$\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_4(j) = -\{a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(10000 - 250) + e] + 0,052\};$$

$$\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_5(j) = a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(10000 - 500) + e];$$

$$\left(\frac{\Delta A}{A}\right)_6(j) = a_o^{(j)} \ln[a_1^{(j)}(1 - \frac{0,021}{0,319})(10000 - 250) + e] - 6,382 \frac{y_2^{*(j)}}{y_{2 \max}}.$$

Построенные модели удовлетворяют заданным требованиям по точности прогнозирования.

#### Список использованных источников

1. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов микросборок. – Самара: СГАУ, 1999. – 160 с.
2. Пестряков В.Б., Андреева В.В. Индивидуальное прогнозирование состояния РЭА методами экстраполяции. – Куйбышев: КуАИ, 1991. – 92 с.
3. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. – 267 с.
4. Андреева В.В., Пиганов М.Н., Скоморохов Г.Ю. Индивидуальное прогнозирование стабильности прецизионных тонкоплёночных конденсаторов // Микроминиатюризация радиоэлектронных устройств: Межвуз. сб. – Рязань: РРТИ, 1980. Вып. 3. – С. 72-76.

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЭЛЕКТРОННО-АКУСТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА

В.М. Паршин, А.Ю. Максимов

Самарский государственный технический университет, г. Самара

По объему добычи нефти Россия занимает лидирующее положение в мире. Располагая огромными невосполнимыми природными ресурсами, важно развивать их рациональную переработку и использование. Очень важны вопросы обновления технической базы. В частности, наблюдается острый дефицит приборов, решающих задачу одновременного измерения расхода, а так же измерения двух важнейших показателей качества – вязкости и плотности. Для этих целей в большинстве случаев необходимо использование сразу нескольких приборов – расходомера, вискозиметра, ареометра или пикнометра. Автоматическая комплексная обработка данных с этих приборов вызывает определенные затруднения, поскольку не все эти приборы имеют цифровые выходы, а, чаще всего, являются механическими. Требуется так же дополнительное вычислительное устройство для комплексной обработки полученных в результате измерения данных.

Авторами предложен комплексный прибор измерения расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов (КПИ) [4]. Суть его работы заключается в следующем. На рис.1 приведена структурная схема КПИ с накладными датчиками. КПИ включает в себя два электроакустических преобразователя (ЭП), монтируемых с внешней стороны трубопровода по Z-схеме и электронный блок, выполненный на базе микроконтроллера. Цикл измерения, инициируемый микроконтроллером, начинается с выбора одного из направлений излучения ультразвукового импульса (например, по потоку), что достигается установкой коммутатора прием-передача в соответствующее положение. При этом ЭП2 излучает сигнал, а ЭП1 принимает его. Принятый сигнал через коммутатор поступает на схему выделения полезного сигнала, где усиливается и фильтруется от помех. Здесь же принимается решение о наличии или отсутствии сигнала, что позволяет избежать ошибочных измерений при пропадании ультразвуковых колебаний, например при опустошении трубопровода, а так же измеряется коэффициент пространственного затухания  $\alpha$ . Определение времени распространения сигнала осуществляется в блоке измерения временных интервалов, с выхода которого оценка времени  $t_1$  поступает в микроконтроллер. Далее по команде микроконтроллера направление излучения меняется на противоположное и повторяется описанная процедура измерения времени распространения сигнала  $t_2$  против потока.



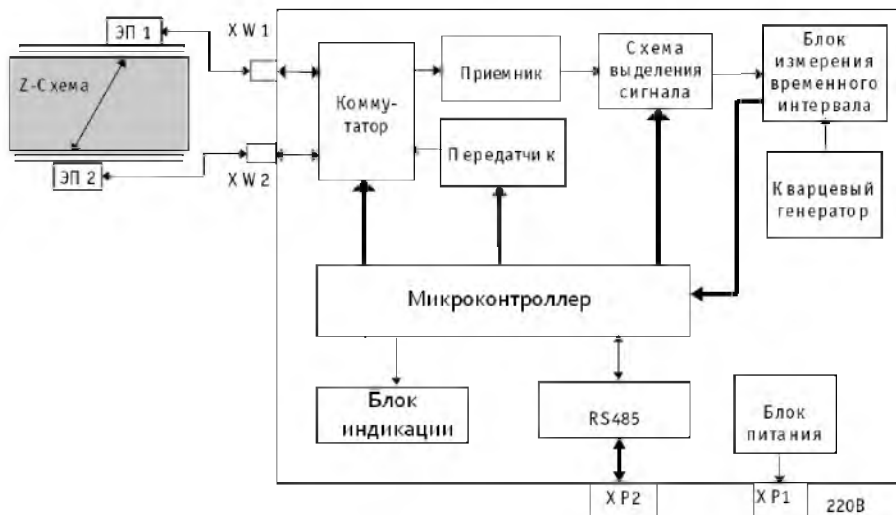


Рис.1. Структурная схема КПИ «Волна-821»

На этом цикл измерения завершается, и микроконтроллер осуществляет расчет текущего значения массового расхода жидкости  $G_M$  в соответствии с выражением (1):

$$G_M = \frac{\pi D^2}{4} * \frac{\tau}{l \beta \cos \alpha} * \frac{n}{2n+1} * K_h, \quad (1)$$

где  $\tau$  - разность времени прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против потока,  $n$  - коэффициент, учитывающий профиль потока жидкости,  $K_h$  - калибровочный коэффициент,  $\beta$  - коэффициент адиабатической сжимаемости жидкости,  $D$  - диаметр трубопровода.

Затем в микроконтроллере происходит вычисление динамической вязкости жидкости по формуле:

$$\eta = \frac{3\rho c^3}{2Dw^2} \ln \frac{U}{U_0} * K_T * K_P, \quad (2)$$

где  $D$  - расстояние между пьезоэлектрическими преобразователями, равное диаметру трубопровода,  $U_0$  - амплитуда электрического напряжения снимаемого с приемного пьезопреобразователя при  $D=0$ ,  $U$  - амплитуда электрического напряжения снимаемого с приемного пьезопреобразователя при  $D>0$ ,  $K_T$  - коэффициент, учитывающий поправку на температуру

жидкости,  $K_p$  – коэффициент, учитывающий поправку на давление жидкости.

Затем в микроконтроллере происходит вычисление плотности жидкости по формуле:

$$\rho_4^{20} = \beta U_0^2 + \gamma(T - 20), \quad (3)$$

где  $\gamma$  – средняя температурная поправка плотности на  $1^\circ\text{C}$ ,  $T$  – температура жидкости.

Вычисленные в микроконтроллере значения массового расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов могут быть отображены индикаторным устройством, переданы в ЭВМ по протоколу RS-485 или помещены в архив на внешнюю микросхему памяти.

В разрабатываемом КПИ измерение расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов являются косвенными, т.е. искомое значение величины находится по известной зависимости этой величины от величин, значения которых найдены прямыми измерениями. Проведенный автором метрологический анализ формул (1) – (3) дал следующие результаты.

Основная погрешность расходомера целиком определяются погрешностью фиксации разности времени прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против потока. Это является главным достоинством предлагаемого метода измерения расхода, поскольку в формулу (1) не входит значение скорости звука  $c$ . График зависимости абсолютной погрешности измерений от точности фиксации временного интервала для указанных нефтепродуктов показан на рис.2.

Дополнительными погрешностей при измерении массового расхода являются неправильный учет влияния профиля скорости; изменение скорости ультразвука в измеряемом веществе; паразитные акустические сигналы; асимметрия электронно-акустических каналов. Кроме этих источников, рассматриваемых далее, имеются еще погрешности, вносимые электронной схемой.

На рис.3 представлена зависимость коэффициента массового расхода от коэффициента шероховатости.

Основная погрешность плотномера целиком определяются погрешностью фиксации времени прохождения ультразвуковых импульсов перпендикулярно потоку. Основная погрешность вискозиметра определяются погрешностью фиксации времени прохождения ультразвуковых импульсов перпендикулярно потоку и погрешностью фиксации коэффициента затухания ультразвука.

На рис.4 представлен график зависимости абсолютной погрешности измерений вязкости керосина от точности фиксации времени  $t$  прохождения ультразвуком в нем расстояния между пьезоэлектрическими преобразова-

телями, равное диаметру трубопровода  $D$  и точности измерения коэффициента затухания  $\alpha$ .

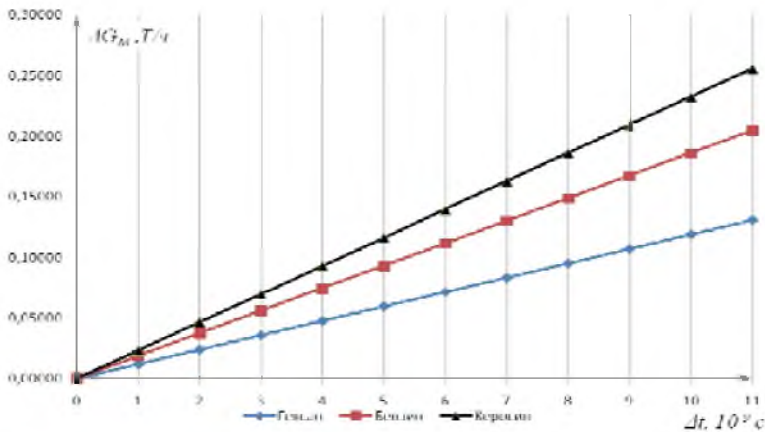


Рис.2. Зависимость абсолютной погрешности измерения массового расхода жидкости от погрешности измерения разности времени прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против потока

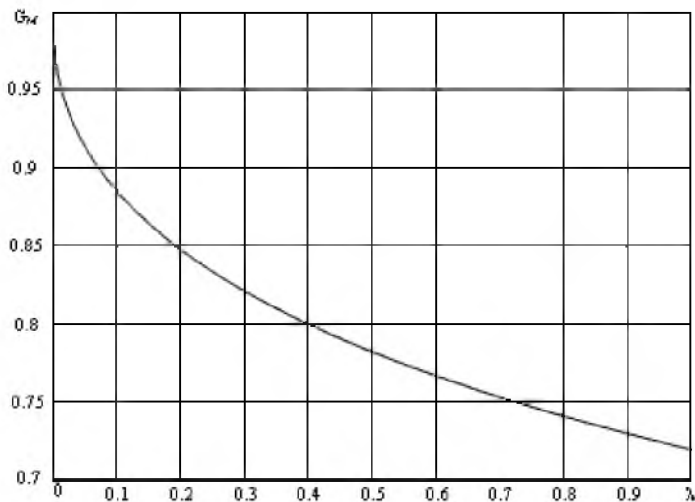


Рис.3. Зависимость массового расхода  $G_M$  от коэффициента шероховатости

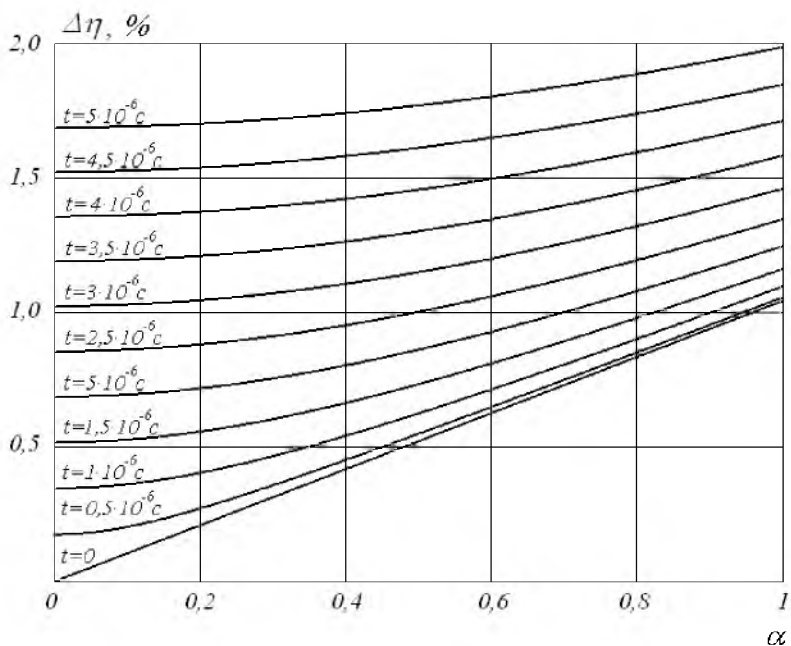


Рис.4. Зависимость абсолютной погрешности измерения вязкости жидкости от погрешности измерения времени прохождения ультразвуковых импульсов перпендикулярно потоку и погрешности фиксации коэффициента затухания ультразвука

Результаты проведенного автором метрологического анализа формул вычисления массового расхода, плотности и динамической вязкости представлены в табл.1.

Таблица.1. Метрологический анализ формул вычисления массового расхода, плотности и динамической вязкости в КПИ

Параметр	Основная погрешность, %	Дополнительная погрешность, %
Массовый расход $G$ , т/ч	0,05%	0,1%
Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	0,1 %	0,3%
Динамическая вязкость $\eta$ , сСт	0,3 %	0,7 %

Приведенные в табл.1 и на рис. 1 - 4 значения получены при частоте зондирующих импульсов  $f = 2\text{МГц}$ , диаметре трубопровода  $D = 0,5\text{м}$ , числе Рейнольдса  $Re = 4 \cdot 10^3$ .

Сравнительный анализ известных конструкций электронных КПИ показал, что на современном уровне развития технологий и элементной базы перспективными являются электронно-акустические устройства, которые позволяют при прочих равных условиях минимизировать габариты и уменьшить цену. Так, стоимость разработанного автором КПИ «Волна-821» составляет всего 20 т.р. против 60 т.р. у аналога (прибор производства ЗАО «Взлет» Взлет МР УРСВ-110). Достигнута более высокая точность измерения массового расхода, плотности и вязкости жидкости по сравнению с аналогами, поскольку вычисления производятся с учетом профиля потока жидкости, коэффициента шероховатости трубопровода, температуры жидкости, а не по приближенным формулам.

Разработанный КПИ обладает следующими характеристиками:

Температура жидкости, °С.....	+5...+150
Давление жидкости в трубопроводе, МПа.....	0,1...1,6
Динамический диапазон измерения расхода.....	1:150
Вязкость жидкости, кг/(м·с).....	200...500
Плотность жидкости, кг/м <sup>3</sup> .....	600...1500
Длина прямого участка, для D=15...40 мм.....	не требуется
Длина прямого участка, до D=40...1600 мм.....	10
Длина прямого участка, после D=1600 мм.....	5
Масса электронного блока, кг.....	1
Напряжение питания прибора, В.....	220 (50Гц)

Заявленные характеристики подтверждены экспериментально.

#### Список использованных источников

1. Сворцов Б.В. Электрофизические устройства контроля качества углеводородных топлив. - Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва. Самара 2000.
2. Красильников В.А., Крылов В.В. Введение в физическую акустику М.: Наука, 1984.
3. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ, Кн 2, С-Пб.: Политехника, 2004.
4. Полезная модель RU №66029 от 04.09.2007, Комплексное устройство измерения расхода, плотности и вязкости нефтепродуктов // Паршин В.М., Сворцов Б.В.

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРОБЛЕМНОГО ОБУЧЕНИЯ ПРИ ПОДГОТОВКЕ РАДИОИНЖЕНЕРОВ

М.Н. Пиганов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В данной работе предложена технология проблемного обучения при подготовке радиоинженеров. Она включает в себя два образовательных модуля

В образовательном модуле “Проблемные ситуации в радиоэлектронных дисциплинах” рассмотрены методы и приёмы углубления познавательной деятельности, проблемные ситуации разного типа.

Показано, что для создания проблемной ситуации необходимы следующие условия:

- 1) наличие проблемы;
- 2) достаточность у обучаемого знаний и умений для решения этой проблемы;
- 3) значимость информации, которую студент может получить при решении проблемы;
- 4) наличие у студента познавательной потребности и познавательной активности.

Разработаны проблемные ситуации шести типов:

1. Несоответствие между имеющимися у студента знаниями и новыми требованиями.
2. Необходимость выбора студентом единственно правильного решения проблемы из совокупности её решений.
3. Новые практические условия использования студентом имеющихся у него знаний.
4. Противоречие между теоретически возможным путём решения задачи и практической неосуществимостью или нецелесообразностью избранного способа её решения.
5. Отсутствие теоретического обоснования практически достигнутого результата.
6. Постановка студенту вопроса или задачи, для ответа на который или для решения которой требуются знания, которые станут объектом усвоения в дальнейшем.

Проведён анализ разработанных проблемных ситуаций. Даны рекомендации по их использованию в учебном процессе.

В инновационном образовательном модуле “Частные методики и технологии проблемного обучения” рассматривается частная методика проведения занятий со студентами радиоконструкторами и радиотехнологами.

Рассмотрены роль частной методики в учебном процессе, её содержание, пример её оформления с использованием проблемной ситуации. Дана оценка эффективности проблемных ситуаций и частных методик, приведены критерии эффективности, процедура обработки результатов оценки эффективности проблемного обучения.

Частная методика представляет собой совокупность правил о том, как рационально организовать обучение данному учебному предмету, его разделу. Она позволяет выбрать научно обоснованный подход к задачам, содержанию, формам и средствам обучения. Частная методика позволяет обеспечить единый подход преподавателей к научному уровню и объёму материала, методике его преподавания, преемственность в методах и приёмах обучения между опытными и молодыми преподавателями.

Показано, что содержание частной методики зависит от её вида. Методика может составляться на весь предмет, на отдельную тему, раздел темы, отдельную лекцию, практическое занятие, лабораторное занятие, домашнее задание, курсовой проект, экзамен.

Представляется, что наиболее рациональная разработка частной методики на отдельную тему курса, содержащую, как правило, 2-3 лекции, одно практическое и одно лабораторное занятие.

Установлено, что количественная оценка качества проблемного обучения, развития творческих способностей студентов весьма сложна. Тем не менее, такая оценка желательна. В качестве критериев эффективности методик проблемного обучения, частных методик целесообразно использовать: приращение среднего экзаменационного бала, среднее квадратичное отклонение приращения среднего балла; уменьшение процента неудовлетворительных оценок на экзамене.

## **ОПЕРАТОРЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ РЭС**

С.В. Тюлевин

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Качество космических радиоэлектронных средств (РЭС) в значительной степени определяется надёжностью входящих в них электрорадиоизделий. При разработке, изготовлении и эксплуатации космической аппаратуры принимаются разнообразные меры, направленные на повышение её надёжности и обеспечение безотказности. Перспективным направлением решения этой задачи является индивидуальное прогнозирование показателей

надежности аппаратуры и входящих в нее электрорадиоизделий на этапе производства аппаратуры. Для этого требуются операторы индивидуально-прогнозирования

В общем случае оператор индивидуально-прогнозирования  $H$  по признакам (информативным параметрам)  $x_i$  с классификацией имеет вид

$$H_{x_{кл}} [x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, \dots, x_i^{(j)}, \dots, x_k^{(j)}] \rightarrow K_s^{*(j)},$$

где  $K_s^{*(j)}$  - номер класса  $j$ -го экземпляра по результатам прогнозирования. При индивидуальном прогнозировании с количественной оценкой прогнозируемого параметра оператор прогнозирования имеет следующий вид

$$H_x [x_1^{(j)}, x_2^{(j)}, \dots, x_i^{(j)}, \dots, x_k^{(j)}] \rightarrow Y^{*(j)}(t_{пр}),$$

где  $Y^{*(j)}(t_{пр})$  - оценка прогнозируемого параметра на момент  $t_{пр}$ .

В данной работе исследовались стабилитроны типа 2С168К-1 и транзисторы типа 2Т385-2М. Для разработки операторов индивидуально-прогнозирования был проведен обучающий эксперимент в течение заданного времени прогнозирования  $t_{пр} = 10000$  часов по методике [1]. Прогнозируемым параметром для стабилитронов была величина дрейфа напряжения стабилизации  $\Delta U_c$ , для транзисторов – величина дрейфа коэффициента усиления  $\Delta \beta$ .

Этапы обучения и экзамена проводили с использованием программного комплекса «Прогноз-1». Все выборки были подвергнуты нормировке по математическому ожиданию каждого признака и прогнозируемого параметра. Были использованы 3 метода: метод дискриминантных функций (МДФ), метод потенциальных функций (МПФ) и метод регрессионных моделей (МРМ).

Для МДФ были получены следующие операторы прогнозирования:

$$\Delta U_c = 1,327x_1^c + 0,582x_2^c;$$

$$\Delta \beta = 0,509x_1^T + 0,582x_2^T,$$

где  $x_1^c, x_2^c$  и  $x_1^T, x_2^T$  – информативные параметры стабилитронов и транзисторов соответственно.

Для МПФ были получены следующие операторы прогнозирования:

$$P_{oc} = 0,42; P_{от} = 0,09.$$

В данном случае оператор прогнозирования эквивалентен порогу потенциальной функции.

Для МРМ были получены следующие операторы прогнозирования:

$$\Delta U_c = -15,68 + 10,72x_1^c + 0,025x_2^c;$$

$$\Delta \beta = 262,3 + 15,64x_1^T + 0,81x_2^T.$$

Указанные операторы прогнозирования имеют минимальное значение вероятности ошибочных решений и оптимальное сочетание рисков изготовителя и потребителя. Следовательно, данные операторы можно использовать для проведения прогнозирования дрейфа параметров элементов, имеющих такие же конструктивно-технологические варианты исполнения.



### Список использованных источников

1. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. – М.: Новые технологии, 2002. – 267 с.
2. Нестеров В.Н. Индивидуальное прогнозирование параметров элементов управляющих систем методом дискриминантных функций// Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: Материалы всероссийской НТК. – Самара: СГАУ, 2005. – С. 155-157.

## ОСОБЕННОСТИ САПР МИКРОСБОРОК С НЕРЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ

М.Н. Пиганов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

При создании космических РЭС и аппаратуры специального назначения широко используются микросборки с нерегулярной структурой. Основными признаками нерегулярности являются следующие: наличие плат, изготовленных по разным технологиям; наличие плат с прецизионными пленочными элементами; широкий диапазон номиналов резисторов, для реализации которых необходимо использовать два и более резистивных материалов; наличие обычных дискретных электрорадиоизделий; сочетание поверхностного монтажа с монтажом компонентов в отверстия; использование устройств функциональной микроэлектроники.

Конструктивно-технологическая сложность таких микросборок достаточно высока. Это вызывает проблемы в процессе автоматизированного проектирования данных изделий.

В данной работе рассмотрены особенности САПР "Плата", предназначенной для проектирования микросборок. Данная система имеет графический интерфейс, который обладает следующими свойствами: быстрый и удобный доступ ко всем командам, отсутствие глубокой вложенности меню, возможность вложенности команд; объективная ориентированность; обеспечение легкого выполнения простых действий и возможность выполнения сложных; простота и естественность команд; высокая эффективность системы при работе как "мышкой", так и клавиатурой, очевидность интерфейса.

Данная система поддерживает работу со всеми геометрическими элементами: прямыми и отрезками прямых, окружностями, эллипсами, дугами окружностей и эллипсов, сплайнами. Она поддерживает работу с различными структурными элементами, позволяет проставлять и редактиро-

вать различные виды размеров. В состав данной системы входят библиотеки типовых и нестандартных элементов и расчетных задач. Алгоритмы трассировки САПР обеспечивают простую конфигурацию трасс, возможность автоматически стирать трассы по указанию номера соединения или координат дискрета. Система трассировки содержит средства электрического и технологического контроля.

## **ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ ДЛЯ БОРТОВЫХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ ОБОБЩЕННОГО ПОРТРЕТА**

И.Н. Еремина

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для повышения качества и показателей надежности бортовых радиоэлектронных средств используют индивидуальное прогнозирование на основе теории распознавания образов.

Одним из эффективных методов прогнозирования параметров электрорадиоизделий при ограниченном объеме выборки является метод обобщенного портрета. Алгоритм обучения распознаванию образов основан на построении разделяющей гиперплоскости. В этом случае может быть реализовано несколько разновидностей алгоритма. Они отличаются видом подпространства и подвыборки, на которых строится эта гиперплоскость.

В данной работе разработан алгоритм, который реализует построение гиперплоскости в оптимальном подпространстве признаков.

При построении алгоритма исходили из следующего. Для всякого фиксированного объема выборки / существует такое подпространство признаков, принадлежащее заданному исходному пространству, в котором построенная разделяющая гиперплоскость обладает наилучшим качеством (минимизирует гарантированную вероятность ошибки). Это подпространство может быть найдено методом структурной минимизации риска. В вычислительном отношении дело сводится к тому, чтобы среди исходного множества, состоящего из  $n$  признаков, найти такие  $h$  признаки, чтобы построенная в подпространстве этих признаков гиперплоскость доставляла минимум критерию

$$P = v + \frac{d(\ln \frac{l}{d} + 1) - \ln C_n^h - \ln \eta}{2l} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4vl}{d(\ln \frac{l}{d} + 1) + \ln C_n^h - \ln \eta}} \right),$$

где  $v$  – частота ошибочной классификации с помощью построенной гиперплоскости,

$$d = \min(n - h, \left\lceil \frac{D^2}{\rho^2} \right\rceil + 1, r).$$

Точное решение этой задачи требует перебора по всем  $2^n$  пространствам. Поэтому в данном алгоритме были использованы эвристические приемы последовательного улучшения оценки. Они существенно сократили схему перебора. Были использованы, так называемые, прямая и обратные пошаговые процедуры.

Обратная пошаговая процедура состояла в том, что сначала среди признаков отыскивали такой, исключение которого в наибольшей степени уменьшает оценку  $P$ . Этот признак исключался, при этом фиксировалось подпространство  $E_{n-1}$  размерности  $n-1$ . Из оставшихся  $n-1$  признаков вновь отыскивался один признак по тому же правилу. Исключение признаков продолжали до тех пор, пока оценка не достигала минимума.

Оператор прогнозирования, построенный на основе данного алгоритма, обеспечивает высокий процент правильных решений (до 95 %).

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БОРТОВОЙ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Н.Д. Семкин, М.А. Леднев

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Одним из основных этапов формирования качества бортовой радиоэлектронной аппаратуры является отбраковка потенциально ненадежных образцов на основе индивидуального прогнозирования. Если выявлены информативные параметры показателей качества, то для прогнозирования целесообразно использовать методы теории распознавания образцов. При малом объеме выборки достаточно эффективным является метод обобщен-

ного портрета. При этом строится разделяющая гиперплоскость. Процент правильных решений при этом зависит от качества данной гиперплоскости.

В данной работе рассмотрена оценка качества построения разделяющей гиперплоскости.

Для проверки качества были использованы следующие способы:

### 1. С помощью критерия

$$P_1(\alpha_9) = v(\alpha_9) + \frac{d(\ln \frac{l}{d} + 1) - \ln \eta}{2l} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{4v(\alpha_9)l}{d(\ln \frac{l}{d} + 1) - \ln \eta}} \right), \quad (1)$$

в котором  $d = \min(n, \left[ \frac{D^2}{\rho^2} \right] + 1, r)$ .

2. С помощью оценки «скользящий контроль». В этом случае используется модифицированная процедура «скользящий контроль», требующая меньшего числа вычислений, чем основная. Качество гиперплоскости оценивается по формуле

$$P_{СК} = \frac{m}{l} + \frac{r_{ош}}{l - m}, \quad (2)$$

где  $l$  – число векторов в обучающей последовательности,  $m$  – число векторов, исключенных при построении обобщенного,  $r_{ош}$  – число ошибочно опознанных информативных векторов  $x_i(\bar{x}_j)$  при скользящем контроле.

Оценка (2) позволяет проводить «скользящий контроль» только на информативных векторах. Очевидно, что в случае  $m=0$ , общая и модифицированные процедуры приводят к одному и тому же результату.

3. С использованием дополнительной выборки (экзаменационной выборки)

$$P_{ДВ} = v_{ЭКЗ},$$

где  $v_{ЭКЗ}$  – частота ошибки классификации с помощью найденного правила, полученная на дополнительной выборке.

## **ТЕХНОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МИКРОСБОРКИ С НЕРЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ**

А.М. Баталова

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Для предприятий, выпускающих изделия микроэлектроники, необходимо обеспечить интеграцию, преемственность и совместное использование информации, порождаемой на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) изделия, т.е. реализовать создание и поддержку единого информационного пространства (ЕИП).

Для решения этой задачи используются современные информационные технологии, реализующие глобальные методологии управления стоимостью владения продукцией и обеспечения гарантированного уровня качества производимой продукции.

Целью данной работы было на основе существующих CALS-стандартов, аналитических методологий и инструментальных средств выработать эффективный подход к проектированию и разработке интегрированных систем управления данными об изделии. Под проектированием и разработкой в данной работе понимается создание ИСУД на основе интеграции существующих ИС.

ИСУД должна охватывать жизненный цикл (ЖЦ) изделия, под которым понимается вся совокупность бизнес-процессов предприятия от получения заказа до выпуска продукции и послепродажного сервиса.

Для оптимального проектирования и разработки ИСУД необходимо построить модель автоматизируемых бизнес-процессов и на ее основе – модель данных, которые соответствуют этим бизнес-процессам.

В качестве объекта исследований был взят жизненный цикл микросборки – от получения заказа до его выпуска и послепродажного сервиса.

Разработана система информационной поддержки жизненного цикла на предприятии (сделан анализ CAD, PDM-систем и выбор базовых для внедрения концепции сквозного параллельного инжиниринга, выбрана концепция информатизации предприятия, проанализированы конструкторские и технологические САПР (CAE/CAD/CAM), описывающие структуру изделия, его состав и все входящие компоненты: детали, комплектующие, материалы и т.д.).

Для построения модели бизнес-процессов ЖЦ микросборки была использована методология IDEF0, основанная на структурном анализе (SADT), а в качестве его программной реализации – VPwin 4.0. Построение модели основывалось на общих представлениях о бизнес-процессах пред-

приятия, документах, регламентирующих работу предприятия и работе с экспертами предметных областей. В результате была построена модель «как есть» ЖЦ, функциональная декомпозиция которой была доведена до уровня работ, регламентируемых стандартами предприятия и положениями о структурных подразделениях.

Функциональная модель деятельности предприятия, построенная в VRwin, дает возможность построить с помощью другой системы моделирования данных логическую модель данных и связать ее с моделью процессов.

Таким образом, используя перечисленные выше концепции, методики и программные средства, данный проект позволит разработать оптимальное решение для разработки ИСУД ЖЦ микросборки.

## **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ**

В.П. Трухов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Повышение надежности современных промышленных установок для выработки электроэнергии и пара невозможно без внедрения современных систем автоматического управления (САУ) и защит агрегатов. Поэтому особое внимание при разработке систем автоматики агрегатов АТГ-10 и БГТЭС-6 блочных газотурбинных электростанций с котлом утилизатором было уделено повышению безотказности систем управления. Особое значение уделено уменьшению стоимости САУ при сохранении высокой надежности. Это было достигнуто путем частичного резервирования наиболее критичных элементов системы и более развитыми алгоритмами диагностирования состояния двигателя.

Процесс проектирования новой или модернизации существующей технической системы предусматривает решение задач расчета параметров и исследования процессов в этой системе. При проведении многовариантных расчетов реальную систему заменяют моделью. В широком смысле модель определяют как отражение наиболее существенных свойств объекта.

Современные САУ включают большое число компонентов, выполняют сложные и разнообразные функции, имеют разветвленные структуры. В этом отношении САУ относятся к сложным системам.

Последовательность разработки модели надежности САУ включает в себя следующие этапы:

1. Анализ задания на расчет надежности с указанием назначения системы, её состава и основных сведений о функционировании, требуемых показателей надежности, а также введение понятия отказа системы.
2. Составление структурной и функциональной схемы САУ с минимально необходимым для выполнения заданных функций составом.
3. Построение надежно-функциональной схемы САУ по имеющимся данным.
4. Анализ и определение надежности входящих в САУ узлов.
5. Принятие решения о законах распределения вероятности безотказной работы отдельных элементов.
6. Получение аналитических выражений описывающих взаимосвязь результирующих показателей и входных данных.
7. Расчет надежности САУ посредством использования полученной модели.
8. Оценка расчетного показателя надежности САУ с требуемым значением и принятием решения о необходимых методах повышения надежности.
9. Уточнение модели надежности с учетом введенных мероприятий, направленных на повышение надежности.
10. Оценка расчетного показателя надежности САУ по результатам эксплуатации.
11. Уточнение модели надежности САУ при несоответствии расчетных показателей требуемым.

## **ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ВИХРЕТОКОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ**

М.А. Абаимов

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

В настоящий момент, существует потребность в диагностике различных трубопроводов ввиду достижения ими установленного срока службы. В ходе диагностики, производятся измерения различных параметров трубы, начиная от степени утонения стенок, вследствие коррозионных процессов, и заканчивая химическим анализом. Подавляющее большинство технических замеров выполняется в шурфах, в ограниченном пространстве на глубине 1 - 3 метра. Если учесть, что парк используемых электронных приборов достаточно велик, то в таких условиях их габариты играют не последнюю роль. После замеров данные вводятся в компьютер для расчётов и оформления официальных отчётов. Перечисленные обстоятельства привели к появлению нового подхода к конструкции радиоэлектронных приборов для

диагностики трубопроводов и в частности вихретоковых толщиномеров и дефектоскопов. Предлагаемая конструкция измерительного прибора следующая. Прибор состоит из двух частей. Измерительного модуля, с автономным источником питания, минимумом индикации и органов управления. На передней панели установлены индикатор и кнопка включения питания, индикатор записи данных, кнопка начала и остановки записи данных, индикатор успешного завершения записи данных и он же индикатор успешного подключения ко второму блоку прибора. Второй блок представляет собой устройство обработки данных, в общем случае, это компьютер. Это может быть компьютер класса Notebook или карманный компьютер. С целью стандартизации сочленение блоков следует производить с помощью одного из стандартных интерфейсов, желательно последовательного, для уменьшения количества проводов и увеличения максимально допустимого расстояния между блоками. При этом соединение может устанавливаться только для переноса данных, а непосредственно замер может производиться только малогабаритным измерительным модулем в любом труднодоступном месте. При необходимости отображения результатов измерений в реальном времени, соединение может быть установлено постоянно. При этом помехоустойчивость соединительных кабелей между блоками будет достаточно высокой, поскольку обмен данными происходит в цифровой форме.

С помощью измерительного модуля производятся измерение физического параметра трубопровода, данные оцифровываются АЦП и записываются во флэш-память первого блока. Затем информация пересылается на компьютер, где она обрабатывается по различным алгоритмам. Здесь результаты могут быть наглядно представлены в виде графиков, годографов, сравнительных диаграмм и выведены на печать. При таком способе программно реализуется часть функций измерительного прибора, которые ранее выполнялись аппаратно. В этом основное отличие данного подхода, когда компьютер является не только дополнительным средством обработки данных или служит для визуализации результатов, а представляет собой неотъемлемую часть измерительного прибора. У данной конструкции есть большое количество преимуществ.

Дальнейшие исследования в данной области показывают, что данный подход может привести к расширению функциональности существующих приборов за счёт программной обработки результатов измерений.



Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**

Материалы Всероссийской научно–технической конференции  
14-16 мая 2007 г.

Научные редакторы И.Г.Мироненко, М.Н. Пиганов

Редактор А.М. Баталова  
Техн. редактор А.В. Архипов  
Компьютерная верстка А.С.Рогова

Подписано в печать 03.05.2007 г. Формат 60×84 1/16.  
Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,5  
Тираж 300 экз. Заказ

Самарский государственный аэрокосмический  
университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34

Издательство Самарского государственного аэрокосмического  
университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34