

## Краткие сообщения

УДК 621.715.2

### **ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ОБРАЗУЮЩИХ АБРАЗИВНЫЙ ТВЕРДЫЙ СЛОЙ**

*Ю.Н. Губарева*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443110, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Приведена технология нанесения на инструмент для опиливания поверхностей детонационных покрытий, позволяющих повысить стойкость инструмента, значительно снизить себестоимость изготовления единицы продукции. Описанная технология требует гораздо меньших производственных площадей. Твердое покрытие в качестве абразивного материала обладает более высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью и красностойкостью, чем стальные напильники, и более высокой термостойкостью, чем алмазные напильники. При этом используется естественное свойство детонационных покрытий приобретать при многослойном напылении равномерный твердый шероховатый слой по всей обрабатываемой поверхности. В представленном методе впервые был использован эффект первичной анизотропии для повышения прочности зубьев напильника.*

**Ключевые слова:** *детонационные покрытия, напильник, первичная анизотропия.*

Напильник является одним из самых распространенных инструментов при обработке металлов, используемым в различных отраслях промышленности. Несмотря на то, что за последнее время ручная опилка в значительной мере стала заменяться машинной обработкой (строганием, фрезерованием, шлифованием), все же остается еще много видов работ, которые выгоднее выполнять с помощью напильника. Достаточно указать на все виды ручных пригонок при сборочных работах в индивидуальном и мелкосерийном производстве, на обработку штампов, изготовление разного рода шаблонов и т. п.

Эти примеры указывают на то, что при обработке металлов напильники имеют чрезвычайно широкое применение, поэтому конструкция и методы их производства требуют должного внимания. Следует, однако, отметить, что, хотя напильник и является одним из старейших инструментов, конструкция его до сих пор изучена мало. Известно, что в течение сотен лет напильник претерпел много изменений [1, 2]; неоспоримо и то, что современные методы его производства оставляют желать много лучшего.

В лаборатории наноструктурированных покрытий СамГТУ разработан ряд новых конструкций напильников, основанных на применении высокопроизводительных технологий нанесения твердых покрытий для формирования рабочей поверхности инструмента [3]. Это позволит повысить

стойкость инструмента, его эффективность и в ряде конструкций снизить себестоимость.

Представленная конструкция инструмента основана на том, что на металлическую заготовку наносят твердое абразивное покрытие. В качестве абразивного покрытия используется твердое детонационное покрытие (твердосплавное, керамическое и др.), степенью абразивного действия которого управляют выбором толщины напыленного слоя, дисперсности и материала напыляемых частиц, а также направлением детонационной обработки заготовок. При этом используется естественное свойство детонационных покрытий приобретать при многослойном напылении равномерный твердый шероховатый слой по всей обрабатываемой поверхности.

Исследования показали, что чем толще наносимый слой и крупнее частицы напыляемого материала, тем более высокая достигается шероховатость и выше абразивное действие покрытия. Напыление покрытия под определенным углом наклона к поверхности вызывает образование характерных микро- и макровыступов (рис. 1), ориентированных в сторону вылета частиц из ствола детонационного комплекса и играющих роль твердых зубов при опиливании поверхностей. Такие зубья (рис. 2), сформированные твердым покрытием (микротвердостью по Виккерсу до  $1500 \text{ кгс/мм}^2$ ), способны срезать микростружку даже с деталей из закаленных сталей (микротвердостью по Виккерсу до  $600 \text{ кгс/мм}^2$ ).

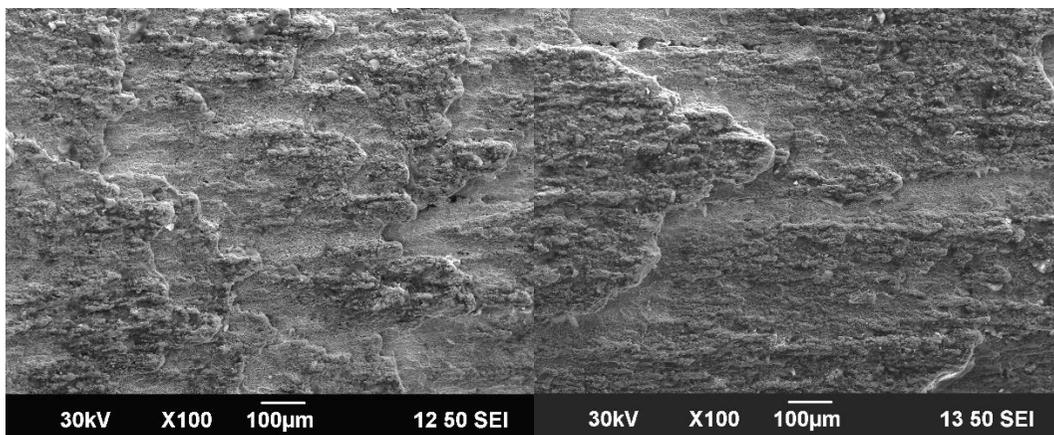


Рис. 1. Образование ориентированных выступов при наклонном напылении твердого покрытия (ВК-12)

В данном методе впервые был использован эффект первичной анизотропии для повышения прочности зубьев напильника. Механизм образования монокристаллических зубьев объясняется наличием в потоке продуктов детонации двух групп частиц напыляемого порошка. Первая группа формирует фронт быстрых и легких частиц, которые достигают поверхности в расплавленном состоянии и начинают формировать на подложке поликристаллический слой покрытия. За первой группой следует поток крупных нерасплавленных частиц, имеющих меньшую скорость, которые «бомбардируют» сформированное покрытие и повреждают кристаллы покрытия с «неблагоприятно» ориентированной кристаллической решеткой.

Таким образом, при каждом выстреле происходит наращивание кристаллов с благоприятно ориентированной решеткой. Это приводит к формированию характерной геометрии покрытия с ориентированными навстречу детонационному потоку зубьями.



Рис. 2. Монокристаллы корунда в виде зубьев, сформированные при напылении керамического покрытия. Видна ориентация кристаллов в направлении потока напыляемых частиц



Рис. 3. Образцы надфилей с абразивным твердым покрытием

Высокая производительность описанной технологии обусловлена тем, что современные автоматизированные детонационные комплексы (АДК) («Обь», «Дракон» и др.) для напыления порошковых материалов позволяют наносить до 3 кг покрытия в час. Скорострельность АДК составляет 10...20 выстрелов в секунду. За каждый происходит напыление слоя толщиной 15 мкм на площади 5 см<sup>2</sup>. Это позволяет формировать абразивный слой за несколько секунд. Кроме того, твердое покрытие в качестве абразивного материала обладает более высокой коррозионной стойкостью, износостойкостью и красностойкостью, чем стальные напильники, и более высокой термостойкостью, чем алмазные напильники. В качестве основы под покрытие можно брать недорогие металлы (низкоуглеродистые стали и т.п.). Прочная связка между частицами

напыленного абразивного слоя позволяет повысить стойкость инструмента. Производство инструмента для опилования с помощью детонационных методов позволяет значительно снизить себестоимость изготовления единицы продукции (снижается стоимость материала и затраты на производство), а также требует гораздо меньше производственных площадей. Использование при напылении энергии газов позволяет снизить расходы электроэнергии в инструментальном производстве.

Образцы инструмента, полученного по данной технологии, приведены на рис. 3.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ ПИСОК

1. Головач В.А. Патент РФ № 2120842. Способ изготовления напильников. Оpubл. 27.10.1998.
2. Соколов Е.Г., Соколов Г.Я., Грознов Р.И. Патент РФ № 2362666. Способ получения абразивного алмазного инструмента. Оpubл. 27.07.2009, бюл. № 21.
3. Ненашев М.В., Деморецкий Д.А., Журавлев А.Н. Металлообрабатывающий инструмент со сменными режущими пластинами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. № 1 (2). – С. 406-408.

*Статья поступила в редакцию 13 марта 2014 г.*

## **HIGH TECHNOLOGY APPLICATION DETANATION COVER FORMING AN ABRASIVE SOLIDS LAYER**

***Y.N. Gubareva***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443110, Russian Federation

*The technology applied to the tool surfaces filing detonation coatings that improve tool life significantly reduce the manufacturing cost per unit of output, as well as requiring much less manufacturing space. Hardcourt as an abrasive material has a higher corrosion resistance, wear resistance and red hardness than steel wool and a higher thermal stability than diamond files. It uses the natural property of detonation coatings in multilayer deposition to acquire a uniform solid grungy layer across the surface being treated. In the present method was first used by the primary effect of anisotropy to increase strength "teeth" of a file.*

***Keywords:*** *detonation coatings, file, primary anisotropy.*

УДК 621. 039

## К ВОПРОСУ О СОГЛАСОВАНИИ ИМПЕДАНСОВ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СО СХЕМАМИ ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

**В.С. Ляпидов**

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: constantin.1988@mail.ru

*Рассматриваются вопросы согласования выходной емкости первичных преобразователей с характеристическим сопротивлением контура измерительного генератора за счет использования схем умножения выходной емкости первичного преобразователя. Предложена структура построения схем вторичного преобразования, использующая схемы имитации отрицательного импеданса для компенсации емкости кабеля, соединяющего первичный преобразователь со схемой вторичного преобразования.*

**Ключевые слова:** измерительный автогенератор с конвертором отрицательного импеданса, схема умножения емкости, схема имитации отрицательного импеданса.

Исследование измерительных  $LC$ -автогенераторов ( $ИГ$ ) с конверторами отрицательного импеданса [1-3] позволяет сделать вывод о перспективности их использования при построении схем вторичного преобразования ( $ВП$ ) информационно-измерительных и управляющих систем ( $ИИ$  и  $УС$ ).

Применение конверторов отрицательного импеданса приводит к изменению величины эквивалентной емкости (индуктивности) в цепи колебательного контура  $ИГ$ . Это требует согласования выходной емкости (индуктивности) первичного преобразователя ( $ПП$ ) с характеристическим сопротивлением колебательного контура  $ИГ$ . Кроме того, зачастую жесткие требования к габаритам  $ПП$  требуют повышения коэффициента преобразования цепи, состоящей из последовательно включенных  $ПП$ , линии связи (кабеля) и  $ВП$ . Требуемое согласование можно обеспечить, например, за счет применения схемы умножения ( $СУ$ ) выходной емкости (индуктивности)  $ПП$ , построенной на основе датчика тока ( $ДТ$ ) и источника тока, управляемого током ( $ИТУТ$ ) [4]. Структура и схема подключения  $СУ$  к  $ПП$  и  $ВП$  приведены на рис. 1.

Умножение величины выходной емкости  $ПП$  эквивалентно применению  $ПП$  с большей величиной выходной емкости (значит, и с соответственно большими габаритами). Коэффициент преобразования цепи, состоящей из последовательно включенных  $ПП$ ,  $СУ$ ,  $ВП$ , повышается при  $K_{СУ} > 1$ . Это позволяет уменьшить габариты  $ПП$ , а значит, повысить, например, его виброустойчивость. В качестве примера реализации на рис. 2 приведена принципиальная схема  $СУ$  емкостного струнного  $ПП$  ( $C_T$  – плоская струна,  $\mathcal{E}$  – неподвижный электрод).

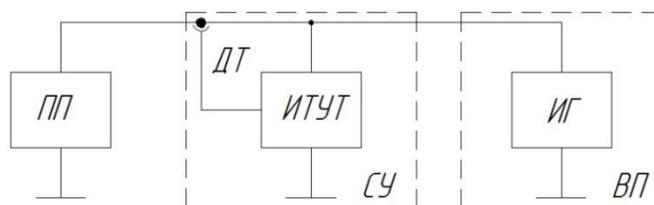


Рис. 1. Структура и схема подключения СУ

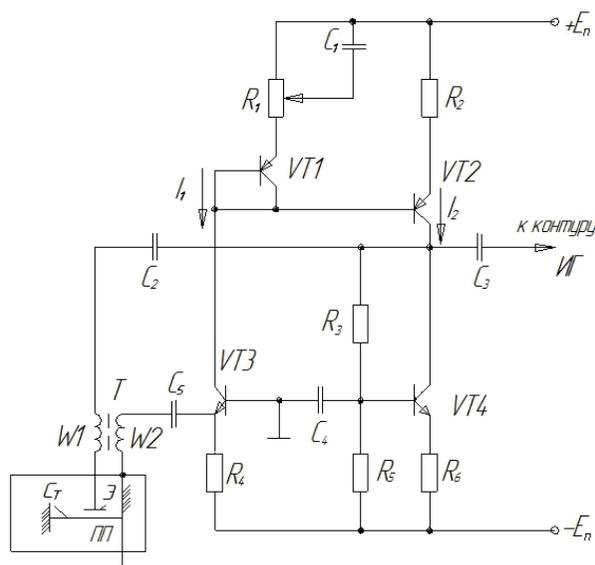


Рис. 2. Схема умножения емкости ПП

При реализации СУ сделаны следующие допущения:

- ДТ реализован на трансформаторе  $T$  с ферритовым сердечником;
- ИТУТ реализован на транзисторе  $VT3$  с общей базой.

Коэффициенты передачи ИТУТ и  $T$  выбраны равными 1 и 2 соответственно. На транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$ , резисторах  $R_1$ ,  $R_2$  и конденсаторе  $C_1$  собрана схема умножения тока на постоянный коэффициент. Для отношения токов  $I_1$  и  $I_2$  справедливо (при  $I_1 R_1 > U_{БЭ}$ ) выражение

$$\frac{I_2}{I_1} \cong \frac{R_1}{R_2}$$

с максимальной ошибкой менее  $\pm 10\%$  в диапазоне двух порядков величины тока [5], т. е.

$$0,1 < \frac{I_2}{I_1} < 10.$$

При  $R_1 = R_2$  схема, выполненная на транзисторах  $VT1$  и  $VT2$ , носит название «токового зеркала». На транзисторе  $VT4$  собран источник постоянного тока для питания СУ.

Следует заметить, что применение СУ ведет к тому, что умножается не только емкость емкостного ПП, но и емкость кабеля, соединяющего ПП со входом СУ. Это обстоятельство, а также снижение относительной величины

емкости  $ПП$  (при значительном удалении  $ПП$  от средств  $ВП$ ) требует компенсации емкости кабеля.

В связи с изложенным разработана структурная схема  $ИИ$  и  $УС$  с емкостным  $ПП$  (рис. 3), в которой для компенсации емкости кабеля использована схема, имитирующая отрицательную емкость [6].

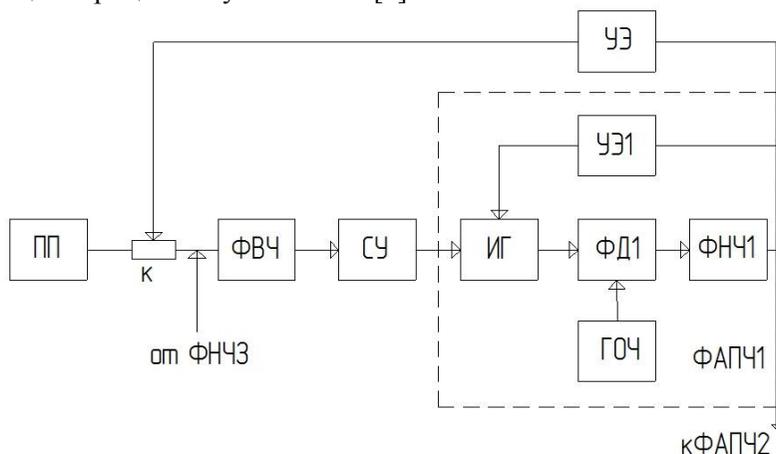


Рис. 3. Структурная схема измерительного канала  $ИИ$  и  $УС$  с емкостным  $ПП$

Разработанная структура отличается от структуры, приведенной, например, в [7], наличием описанной выше  $СУ$  и дополнительного управляющего элемента ( $УЭ$ ), вход которого подключен к выходу фильтра низких частот ( $ФНЧ1$ ), а выход – к кабелю ( $К$ ), соединяющему емкостный  $ПП$  со входом фильтра высоких частот ( $ФВЧ$ ).  $ИГ$  включен в систему фазовой автоподстройки частоты ( $ФАПЧ1$ ).

При изменении емкости кабеля происходит рассогласование фаз сигналов на выходе  $ИГ$  и входе генератора опорной частоты ( $ГОЧ$ ), а на выходе фазового детектора ( $ФД1$ ) вырабатывается сигнал ошибки. Низкочастотные составляющие сигнала с выхода  $ФНЧ1$  подаются на вход  $УЭ$ , который компенсирует изменение емкости кабеля ( $К$ ). В качестве  $УЭ$  использована схема, имитирующая отрицательную емкость. Выход схемы  $УЭ$  включен параллельно с емкостью кабеля ( $С_K$ ). Это обеспечивает компенсацию емкости кабеля «отрицательной» емкостью управляющего элемента ( $-C_{УЭ}$ ).

Таким образом, в статье рассмотрена принципиальная возможность согласования выходной емкости  $ПП$  с характеристическим сопротивлением контура  $ИГ$  за счет использования схем умножения емкости из последовательно включенных датчика тока и управляемого источника тока.

Кроме того, рассмотрена принципиальная возможность и предложена структура измерительного канала  $ИИ$  и  $УС$  с емкостными  $ПП$  для компенсации емкости кабеля (с помощью схем имитации отрицательного импеданса), соединяющего  $ПП$  со схемой  $ВП$ , что позволит удалять  $ПП$  от схем  $ВП$ . Последнее обстоятельство является возможным при построении  $ИИ$  и  $УС$  для энергетических объектов, требующих повышенной термической напряженности в зоне работы  $ПП$  [8].

Автор не ставил перед собой задачи оценки быстродействия или оценки снижения погрешности  $ИИС$ , поскольку эти вопросы целесообразно рассматривать только для конкретно образца  $ИИ$  и  $УС$  с конкретными характеристиками  $ПП$  и соединительного кабеля.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ляпидов В.С.* Активные цепи в измерительных автогенераторах // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2004. – № 20. – С. 135-144.
2. *Ляпидов В.С.* Перспективы применения схем имитации отрицательной емкости (индуктивности) при построении схем вторичного преобразования информационно-измерительных и управляющих систем // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – № 4. – С. 46-49.
3. *Ляпидов В.С., Привалов В.Д.* Высокочувствительные схемы вторичного преобразования информационно-измерительных и управляющих систем с автогенераторами на базе управляемых конверторов отрицательного импеданса // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 9. – С. 38-40.
4. А. с. 800720 (СССР). Струнный автогенератор / В.Д. Привалов, М.П. Козин, М.Н. Левин, В.С. Ляпидов. – Б. И. № 4, 1981.
5. *Хейнлейн В.Е., Холмс В.Х.* Активные фильтры для интегральных схем. – М.: Связь, 1980. – 656 с.
6. А. с. 909594 (СССР). Струнный автогенератор / В.Д. Привалов, М.П. Козин, В.С. Ляпидов. – Б. И. № 8, 1982.
7. *Ляпидов В.С.* Повышение чувствительности измерительной части информационно-измерительных систем с резонансными первичными преобразователями // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2007. – № 1 (19). – С. 191-193.
8. *Ляпидов В.С.* К вопросу построения измерительных систем давления жидкого теплоносителя в энергетических объектах // Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС – 2010): Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Самара, 2010. – С. 182-185.

*Статья поступила в редакцию 25 декабря 2013 г.*

## TO THE QUESTION OF IMPEDANCE MATCHING TRANSFORMERS WITH PRIMARY SECONDARY CIRCUITS TRANSFORM INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS

*V.S. Lyapidov*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*The issues of matching the output capacitance of the primary converters with characteristic impedance measuring generator circuit by using schemes multiplying the output capacitance of the primary device are analyzed. The structure diagramming secondary conversion circuit simulation, using negative impedance compensation capacitance of the cable, connecting the transducer to the converter circuit is suggested.*

**Keywords:** *measuring autogenerator with negative impedance converter, capacitance multiplication circuit, the circuit simulation of the negative impedance.*

---

*Valery S. Lyapidov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*

УДК 681.391:543/545

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФРАКТАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

*Р.Т. Сайфуллин*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассматривается алгоритм вычисления фрактальных характеристик многокомпонентных сигналов хроматографических анализаторов. Индекс фрактальности используется в качестве идентификатора многокомпонентных хроматографических сигналов. Он характеризует хроматограмму в целом и позволяет упорядочивать анализируемые сигналы по свойствам хаотичности или сложности и таким образом классифицировать, разделять их. Для конкретной многокомпонентной хроматограммы на основе анализа изменения индекса фрактальности во времени делается вывод о соответствии хроматограммы конкретному классу.*

**Ключевые слова:** *многокомпонентная хроматограмма, фрактальный сигнал, фрактальные характеристики.*

В основе формирования структуры фрактального сигнала лежит гипотеза самоподобия. Будем рассматривать многокомпонентный хроматографический сигнал, состоящий из наложений множества хроматографических пиков разных размеров, как фрактальный. Такие многокомпонентные хроматограммы характерны при анализе сложных смесей загрязнений различной природы [1], контроле загрязнений окружающей среды, определении загрязнений в воздухе, воде и т. д.

В связи со спецификой формирования фрактального сигнала возникает необходимость использования методов анализа и обработки таких сигналов, позволяющих оценивать специфические параметры фрактального сигнала, к которым относится, в частности, фрактальная размерность [1]. Познавательная сила фрактальной размерности состоит в том, что с ее помощью можно упорядочивать исследуемые сигналы по свойствам хаотичности или сложности и таким образом классифицировать, разделять их. Таким образом, фрактальный анализ многокомпонентных хроматографических сигналов позволит поставить в соответствие хроматограмме некоторые фрактальные показатели, характеризующие всю хроматограмму в целом, и использовать их в задачах контроля, оценки экологического состояния и т. д.

Фрактальная размерность обычно вычисляется через клеточную размерность  $D_c$ . Представим выходной сигнал аналитического прибора в виде графика вещественной функции одной переменной  $y = f(t)$ , определенной на некотором отрезке  $[a, b]$ .

Определение фрактальной размерности с помощью клеточного покрытия сигнала состоит из следующих этапов.

1. Плоскость, на которой определен график, разбивается на клетки

размером  $\delta$ , и подсчитывается число клеток  $N(\delta)$ , через которые проходит хотя бы одна точка этого графика.

2. Производятся вычисления  $N(\delta)$  для различных длин стороны  $\delta(\delta_1 = \delta, \delta_2 = \frac{\delta_1}{2}, \delta_3 = \frac{\delta_1}{4}, \dots)$ . Из определения фрактальной размерности [2] число элементов покрытия  $N(\delta)$  должно вести себя как  $\sim e^{-D_c}$ , следовательно,  $\ln N(\delta) = -D_c \ln \delta$ . По полученным данным строится зависимость  $\ln N(\delta)$  от  $\ln \delta$ .

3. С помощью метода наименьших квадратов (МНК) эта зависимость аппроксимируется прямой, угол наклона которой и определяет клеточную размерность  $D_c$ .

По сравнению с клеточным существует более точное покрытие графика функции  $y = f(t)$  из класса прямоугольников [3]. Введем равномерное разбиение отрезка  $[a, b]: [a = t_0, t_1, \dots, t_m = b]$ , где  $t = t_0 + i\delta$ ,  $\delta = \frac{(b-a)}{m}$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Построим покрытие функции  $f(t)$  прямоугольниками с основанием  $\delta$  (см. рисунок).

Высота прямоугольника на отрезке  $[t_{i-1}, t_i]$  будет равна разности между максимальным и минимальным значениями функции  $f(t)$  на этом отрезке. Обозначим эту величину  $A_i(\delta)$  (см. рисунок). Тогда величина

$$V(\delta) = \sum_{i=1}^m A_i(\delta) \quad (1)$$

является амплитудной вариацией функции  $f(t)$  [3], соответствующей масштабу разбиения  $\delta$  на отрезке  $[a, b]$ .

Полную площадь покрытия  $S(\delta)$  можно записать в виде  $S(\delta) = V(\delta) \cdot \delta$ . Таким образом,  $S(\delta)$  является площадью покрытия графика функции из класса прямоугольников. Такое покрытие называют минимальным [3].

Пусть  $D_\mu$  – размерность минимального покрытия, тогда

$$D_\mu = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln V(\delta) \cdot \delta}{\ln \left( \frac{1}{\delta} \right)}.$$

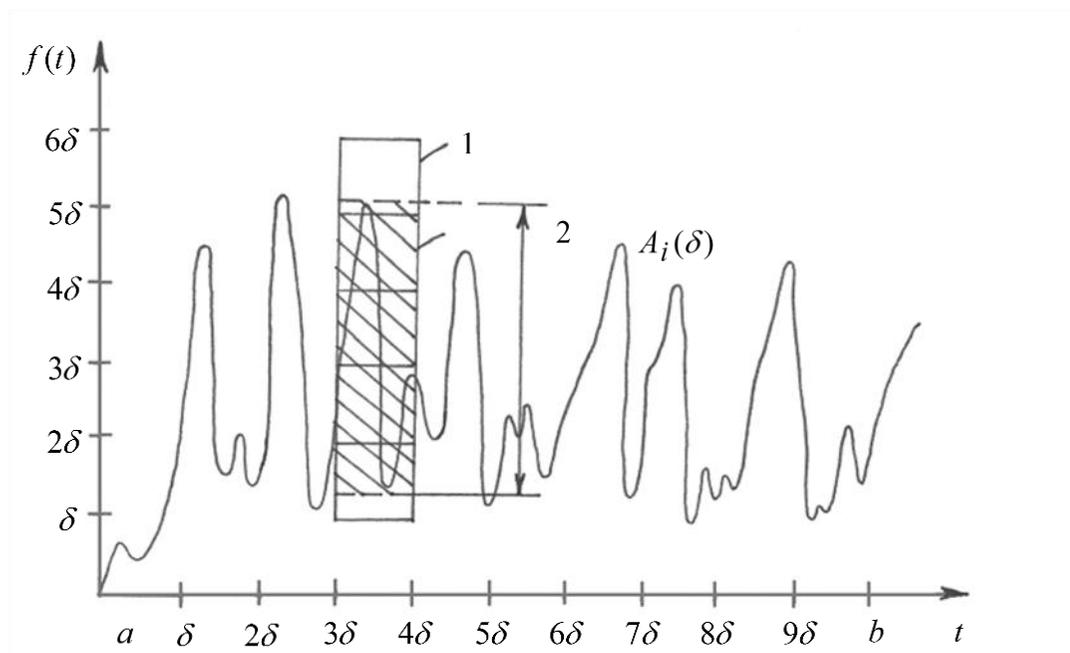
Следовательно,  $V(\delta) \sim \delta^{D_\mu - 1}$ , где показатель  $\mu = D_\mu - 1$  – индекс фрактальности.

Главным преимуществом индекса  $\mu$  по сравнению с другими фрактальными показателями является то, что соответствующая ему величина  $V(\delta)$  имеет быстрый выход на степенной асимптотический режим. Это приводит к возможности использовать  $\mu$  в качестве локальной характеристики, определяющей динамику исходного сигнала.

Индекс фрактальности  $\mu$  и размерность минимального покрытия  $D_\mu$  являются основными величинами, подлежащими оценке.

При вычислении индекса  $\mu$  используется последовательность  $m$  вложенных разбиений отрезка  $[a, b]$ , где  $m = 2^n$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ . Таким образом, как

и в случае клеточного покрытия,  $\delta_1 = \delta, \delta_2 = \frac{\delta_1}{2}, \delta_3 = \frac{\delta_1}{4}, \dots$



Организация покрытия многокомпонентного сигнала:  
1 – клеточное покрытие; 2 – покрытие прямоугольником

Для каждого такого разбиения вычисляется амплитудная вариация  $V(\delta)$  (1). Здесь  $A_i(\delta)$  равна разности между максимальным и минимальным значениями сигнала на соответствующем интервале  $[t_{i-1}, t]$ . По аналогии с клеточным покрытием строится зависимость  $V(\delta)$  от  $\delta$  в двойных логарифмических координатах. Для определения значения индекса фрактальности  $\mu$  по этим данным следует найти линию регрессии  $y = b_0 + b_1 t$  ( $b_0, b_1$  – константы) и положить  $b_1 = -\mu$ .

Чтобы соотнести значения индекса фрактальности  $\mu$  с поведением сигнала, необходимо определить функцию  $\mu(t)$  как значение индекса  $\mu$ , полученное на некотором минимальном интервале, предшествующем  $t$ . Чем больше  $\mu$ , тем выше стабильность. С помощью функции  $\mu(t)$  можно протестировать многокомпонентные хроматограммы с тем, чтобы выделить в них фрагменты стабильности.

Таким образом, функцию  $\mu(t)$  можно рассматривать в качестве идентификатора многокомпонентных хроматографических сигналов. Для этого с помощью МНК рассчитываются значения  $\mu$ , а также нижняя  $\mu_n$  и верхняя  $\mu_v$  границы доверительного интервала, в который истинное значение  $\mu$  попадает с заданной вероятностью. Выделяются временные интервалы, где  $\mu_v < c, \mu_n > c$ ,

$\mu_n < c < \mu_e$ ,  $c$  – константа (обычно  $c = 0,5$ ). Для конкретной многокомпонентной хроматограммы с помощью функции  $\mu(t)$  выделяются интервалы стабильности, и по ним делается вывод о соответствии хроматограммы конкретному классу.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Другов Ю.С. Экологическая аналитическая химия. – М., 2000. – 432 с.
2. Короленко П.В., Маганова М.С., Меснянкин А.В. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвлет-преобразования. – М.: МГУ, 2004. – 82 с.
3. Дубовиков М.М., Крянев А.В., Старченко Н.В. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов. // Вестник РУДН. – 2004. – Т. 3. – № 1. – С. 81-95.

*Статья поступила в редакцию 15 января 2014 г.*

## DETERMINATION OF MULTI-FRACTAL CHARACTERISTICS OF THE CHROMATOGRAPHIC SIGNALS

***R.T. Saifullin***

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaja st., Samara, 443100, Russian Federation

*An algorithm for determining the fractal characteristics of multicomponent signals of GC analyzers is considered. Fractal index is used as an identifier for multicomponent chromatographic signals. For specific multicomponent chromatogram based on the analysis of the fractal index changing over time the compliance of chromatogram to the specific class is concluded.*

***Keywords:*** *multicomponent chromatogram, fractal signals, fractal characteristics.*

УДК 621.3.078

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ

**М.В. Хоренко**

Филиал «Провими-Самара» ООО «Провими»  
Россия, 446250, Самарская обл., п. Безенчук

*Рассматривается возможность высокопроизводительной и особо точной обработки изделий на прецизионном поворотном столе в виде мехатронного модуля. Подобная конструкция полностью исключает люфт в структуре электропривода, позволяет обеспечить высокие динамические показатели качества управления. В силу сложности тепловых процессов в работе дается экспериментальная оценка тепловых деформаций планшайбы поворотного стола от нагрева статора синхронного поворотного электродвигателя с постоянными магнитами в роторе. Показано, что достижение требуемых показателей качества управления возможно при введении системы стабилизации температуры статора охлаждающей жидкостью.*

**Ключевые слова:** поворотный стол, планшайба, мехатронный модуль, термодиформация.

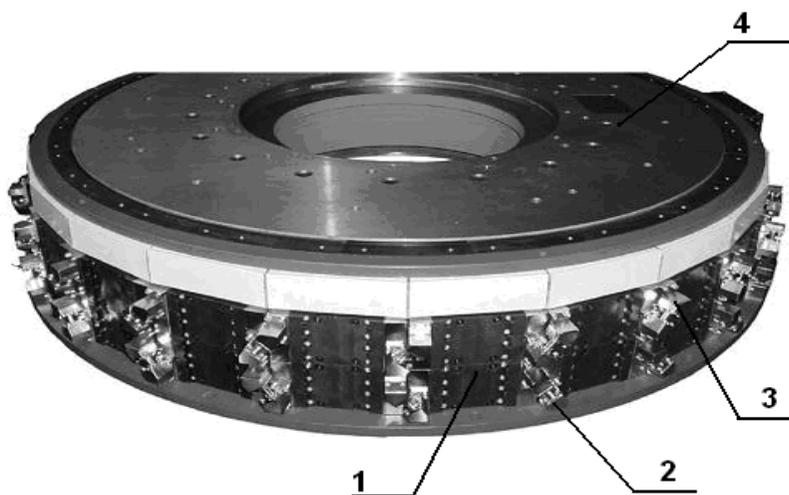
Новые требования по точности позиционирования и динамическим показателям качества (до 1 мкм и до 1"), предъявляемые к прецизионным поворотным столам, ограничивают возможность использования редукторных конструкций.

Наиболее распространенное решение этой проблемы – использование мехатронного модуля [1] поворотного стола, который позволяет существенно увеличить статическую точность и динамические показатели качества управления поворотным столом и представляет собой объект автоматического управления процессом движения и позиционирования планшайбы. Внешний вид электропривода представлен на рисунке.

В процессе обработки детали на мехатронном модуле ток статора изменяется в соответствии с нагрузочной диаграммой, а в режиме позиционирования (работа двигателя «на упор») изменение тока статора имеет стохастический характер [2], что приводит к колебаниям температуры привода модуля и, как следствие, деформации поверхности планшайбы, снижению точности воспроизведения заданной программы

Автором были произведены экспериментальные исследования нагрева поверхности планшайбы заданным током  $I = 0,7I_n$ , что соответствует эквивалентному значению в процессе обработки деталей в длительном режиме. Замер температуры поверхности планшайбы осуществлялся с помощью тепловизора FLIR-200 с погрешностью 0,1 %.

При нагревании статора привода заданным током температура поверхности планшайбы имеет перепад порядка 0,5–1,5 °С по поверхности планшайбы и нагрев планшайбы осуществляется неравномерно.



Привод мехатронного модуля. Элементы двигателя RSM-36:  
 1 – обмотки статора; 2 – входной патрубок системы охлаждения; 3 – выходной  
 патрубок системы охлаждения; 4 – ротор с постоянными магнитами

Участок с превышением температуры 1-1,5 °С находится в центре. Это свидетельствует о том, что в основном передача тепла от привода к планшайбе осуществляется через ротор (в мехатронном модуле планшайба крепится непосредственно к валу привода). Нахождение участка превышения температуры в месте крепления планшайбы к приводу ведет к вспучиванию последней и потере точности. Анализ экспериментальных данных показал, что перепад температур на поверхности планшайбы 0,5–1,5 °С приводит к деформации планшайбы от ее центра к периферии в пределах 4–5 мкм и определяет отклонение оси инструмента от вертикали 8–9 угловых секунд. Это обстоятельство приводит к погрешности в обработке детали, закрепленной на планшайбе, 2–3 мкм.

Учитывая данный факт, для сохранения точности позиционирования прецизионного поворотного стола и обеспечения высокой производительности обработки изделий необходимо оснащать электропривод поворотного стола системой автоматической стабилизации температуры планшайбы за счет регулируемой прокачки охлаждающей жидкости через радиатор статора электродвигателя. Кроме того, чтобы исключить выпадение конденсата при охлаждении электродвигателя, температура предполагаемого теплоносителя не должна быть ниже температуры рабочей камеры более чем на 1 °С [1].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подураев Ю.В., Кулешов В.С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем // Мехатроника. – 2000. – № 1. – С. 5-10.
2. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоиздат, 2001.

*Статья поступила в редакцию 25 декабря 2013 г.*

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE TEMPERATURE FIELD OF MECHATRONIC MODULE

***M.V. Khorenko***

«Provimi» Samara Branch

p. Bezenchuk, Samara region, 446250, Russian Federation

*This paper investigates the possibility of high-speed and high-precision processing of products on a precision rotary table in the form of a mechatronic module. This design eliminates backlash in the electric drive structure, providing high dynamic performance of quality control. The author gives experimental evaluation of thermal deformations of the rotary table's faceplate from heating of the stator of the rotary synchronous motor with permanent magnets in the rotor. The paper shows that the achievement of required quality control is possible with the introduction of stabilization system of stator using temperature coolant.*

***Keywords:*** rotary table, mechatronic module, thermal movement, faceplate.

## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 7 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 3-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

**Требования к оформлению статей находятся на сайте университета**

www.samgtu.ru → Наука → Вестник СамГТУ →  
→ Серия «Технические науки».

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- лицензионный договор передачи авторского права на публикацию;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

***Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.***

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова

(e-mail: vest\_teh@samgtu.ru)

Редколлегия журнала