

**Выводы.** Полученные формулы для расчета математического ожидания и дисперсии зависят от параметра  $z^*$ . Для их применения необходимо, чтобы  $\gamma_2 < 1/z^*$ . Чтобы уменьшить погрешности определения упомянутых характеристик, целесообразно увеличивать  $z^*$ , так как при интегрировании (8), (10), (12) учитывается все большая доля площади под кривой плотности вероятности. Однако это увеличение требует проводить измерения при меньших погрешностях  $\gamma_2$ . Так, из табл. 2 при  $\gamma_2 = 0,3$  следует, что рассчитанное значение  $\sigma_m$  и полученное в результате моделирования  $\hat{\sigma}_m$  существенно отличаются (строки 7, 8). Необходимое условие применимости  $\gamma_2 < 1/z^* \approx 0,333$  оказывается недостаточным для достижения приемлемой погрешности, доверительный интервал оказывается большим (строки 5, 6), но уже при  $\gamma_2 = 0,2$  и менее результаты расчета и моделирования оказываются близкими. Поэтому при выборе  $z^* = 3$  можно рекомендовать  $\gamma_2 \leq 0,2$  для проведения измерения и расчетов.

Математические ожидания  $M$  и  $\hat{M}$  (строки 10, 11) оказываются смещенными по отношению к медиане  $m$ , которую следует принимать за истинное значение измеряемого отношения. В связи с этим целесообразно рассматривать дисперсию оценки отношения относительно медианы распределения. С уменьшением погрешности  $\gamma_2$  характеристики  $m$  и  $M$ , а также  $D_m$  и  $D$  соответственно сближаются и совпадают

с теоретической оценкой (1), предусматривающей наличие математического ожидания и дисперсии отношения при произвольных законах распределения числителя и знаменателя.

При малых  $\gamma_2$  выражение (14) связывает доверительный интервал со средней квадратической погрешностью  $\sigma_m$ . Так, при  $\bar{z} = z^* = 3$  имеем  $d \approx 6\sigma_m$ , что хорошо прослеживается в строках 5, 7 табл. 1, 2.

#### Л и т е р а т у р а

1. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Кендалл М., Стьюарт А. Теория распределений. Т. 1. М.: Наука, 1966.
3. Котюк А. Ф., Райцин А. М. Погрешности определения параметров формы пространственного распределения излучения лазера // Измерительная техника. 1979. № 9. С. 18—20; Kotyuk A. F., Raitsin A. M. Errors in determining the mode parameters of the spatial distribution of laser radiation // Measurement Techniques. 1979. V. 22. N 9. P. 1049—1052.
4. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Ч. 2. М.: Сов. радио, 1975.

Дата принятия 01.03.2012 г.

621.317.733

## Система базисных функций измерительной цепи датчика с временным разделением каналов

В. П. АРБУЗОВ, М. А. МИШИНА

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия, e-mail: avitel@pnzgu.ru

Сформулированы требования к системе базисных функций, позволяющие обеспечить временное разделение каналов в измерительных цепях датчиков. В соответствии с требованиями разработаны системы базисных функций временного разделения каналов.

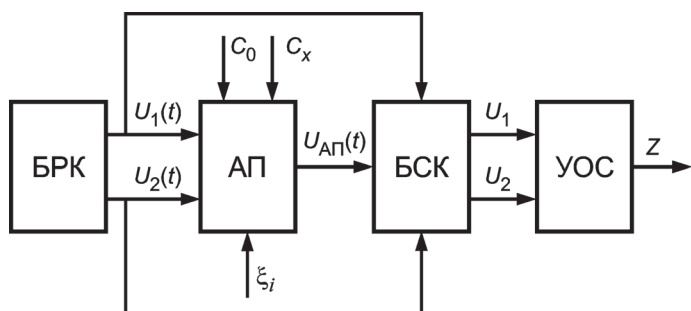
**Ключевые слова:** система базисных функций, измерительная цепь, временное разделение каналов.

The basis functions system requirements allowing to provide the time division of channels in sensors measuring circuits are formulated. In accordance with this requirements basis functions systems of channels time division were developed.

**Key words:** basis functions system, measuring circuit, time division of channels.

Одна из основных составляющих погрешности преобразователя пассивных электрических величин ( $R, L, C$ ) в активную величину ( $U$  или  $I$ ), выполняемого на основе операционного усилителя, — погрешность, обусловленная конечным значением коэффициента усиления операционного усилителя. Эта погрешность является функцией нескольких параметров, и поэтому для ее коррекции необходима структурная избыточность, позволяющая реализовать «принцип двухканальности» либо путем пространственного или временного разделения каналов, либо их сочетания. Последний вариант характерен для тестовых методов повышения точнос-

ти [1], реализация которых так же, как и для методов пространственного разделения каналов, возможна при использовании дополнительных преобразуемых величин, что приводит к усложнению объекта измерения (параметрического преобразователя в датчиках). Методы временного разделения каналов измерительных цепей (ИЦ) датчиков [2] теоретически позволяют, по сравнению с указанными выше методами, полностью скорректировать рассматриваемую погрешность, не усложняя объект измерения — параметрический преобразователь датчика.



Структурная схема измерительной цепи емкостного датчика:

БРК — блок разделения каналов; АП — активный преобразователь; БСК — блок селекции каналов; УОС — устройство обработки сигнала

Наличие в конструкции емкостного параметрического преобразователя наряду с рабочим конденсатором дополнительного опорного конденсатора и преобразование в выходной сигнал ИЦ относительного информативного параметра ( $C_0/C_x$ ,  $C_x/C_0$ ) дает возможность устранить влияние неинформативных составляющих входного сигнала датчика. Однако измерительный тракт тоже вносит в результат измерения погрешность, которую можно скорректировать при раздельном преобразовании емкостей рабочего и опорного конденсаторов датчика и использовании логометрической коррекции.

Структурная схема измерительной цепи, в которой реализовано временное разделение каналов преобразования емкостей датчика, приведена на рисунке. Для преобразования емкостей конденсаторов  $C_0$  и  $C_x$  в активную электрическую величину используются сигналы  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ , т. е. выходной сигнал  $U_{АП}(t)$  активного преобразователя АП представляет собой сумму двух напряжений, одно из которых пропорционально  $C_0$ , а второе  $C_x$ :

$$U_{АП}(t) = U_1(t)\lambda_1 + U_2(t)\lambda_2, \quad (1)$$

где  $\lambda_1 = f(C_0, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ ,  $\lambda_2 = f(C_x, \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$  — коэффициенты, зависящие от емкостей соответственно опорного и рабочего конденсаторов датчика и от параметров АП  $\xi_i$ , мультипликативно связанных с емкостями конденсаторов параметрического преобразователя датчика.

Блок селекции каналов БСК разделяет выходной сигнал активного преобразователя на две составляющие  $U_1$  и  $U_2$ , одна из которых зависит от емкости опорного конденсатора датчика  $C_0$ , а вторая от емкости рабочего конденсатора  $C_x$ :

$$U_1 = U_1(t)\lambda_1; U_2 = U_2(t)\lambda_2.$$

Выходной сигнал ИЦ  $Z$  может быть любым унифицированным сигналом, в данном случае  $Z = C_0/C_x$ , и не зависит от параметров АП [2].

Для извлечения из  $U_{АП}(t)$  информации о значениях емкостей конденсаторов  $C_0$  и  $C_x$  необходимо задать сигналы  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$  таким образом, чтобы описывающие их функции составляли систему базисных функций. Тогда процедура выделения составляющих из выходного сигнала АП равносильна разложению этого сигнала в системе базисных функций  $\{U_1(t) \text{ и } U_2(t)\}$  и определению весовых коэффициентов  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  в (1).

Чтобы выходные сигналы БРК составляли систему базисных функций, описывающие их функции должны быть линейно независимыми, упорядоченными и нормированными, а сама система ортогональной, причем  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$  на интервале ортогональности  $T$  должны иметь конечную энергию. Кроме того, при разложении непрерывных сигналов в базисной системе эта система должна состоять из непрерывных функций. Условие полноты для рассматриваемой базисной системы необязательно, так как в ней раскладывается не произвольный сигнал, а заведомо определенный — напряжение  $U_{АП}(t)$ , представляющее собой сумму функций  $U_1(t)\lambda_1$  и  $U_2(t)\lambda_2$ . Практическая реализация активного преобразователя накладывает на напряжения  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  дополнительные требования, необходимые для обеспечения работоспособности измерительной цепи в целом и достижения полной коррекции погрешности. Напряжения  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  должны состоять из одинакового числа гармоник, частоты которых совпадают, и формироваться от одного генератора. Выходные сигналы БРК должны быть периодическими, двухполярными, а среднее значение каждого из них за период равно нулю. Одновременное выполнение перечисленных ниже требований позволяет создать «базис» разложения выходного сигнала АП на искомые составляющие.

Требования к функциям системы базисных функций ИЦ с временным разделением каналов:

- линейная независимость;
- упорядоченность;
- нормирование по энергии и мощности;
- ортогональность;
- конечная энергия на интервале ортогональности;
- периодичность;
- двухполярность;
- отсутствие постоянной составляющей;
- равенство частот и одинаковое число гармоник.

В общем случае напряжения  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , формируемые от одного генератора, можно представить в виде

$$U_1(t) = K_1(t) \sum_{i=1}^n f_1(t, \varphi_i, \omega_i); U_2(t) = K_2(t) \sum_{i=1}^n f_2(t, \varphi_i, \omega_i),$$

где  $K_1(t)$ ,  $K_2(t)$  — коэффициенты пропорциональности между амплитудами напряжений  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  и выходным напряжением генератора  $U_r(t)$  (при этом функции  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  должны быть линейно независимыми);  $n$  — число гармоник в сигналах;  $f_1(t, \varphi_i, \omega_i)$ ,  $f_2(t, \varphi_i, \omega_i)$  — функции, описывающие временные или частотные свойства напряжений  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ .

В то же время рассматриваемые функции должны составлять ортогональную систему функций, т. е.

$$\frac{1}{T} \int_0^T U_1(t)U_2(t)dt = 0.$$

В общем случае напряжения  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , формируемые в БРК из выходного напряжения генератора и составляющие ортогональную систему функций, образуют «базис» временного разделения каналов ИЦ датчиков как во временной, так и в частотной плоскости:

$$\left. \begin{aligned} U_1(t) &= K_1(t) \sum_{i=1}^n f_1(t, \varphi_i, \omega_i); \\ U_2(t) &= K_2(t) \sum_{i=1}^n f_2(t, \varphi_i, \omega_i). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Рассмотрим разложение выходного напряжения АП в частотной плоскости. Поскольку сигналы  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$  и являются периодическими, их можно представить в виде ряда Фурье. С учетом отсутствия постоянной составляющей система (2) примет вид

$$\left. \begin{aligned} U_1(t) &= K_1(t) \sum_{k=1}^n (U_{rk}) \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) &= K_2(t) \sum_{k=1}^n (U'_{rk}) \sin(k\omega t + \varphi'_k), \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $U_{rk}$ ,  $U'_{rk}$  — амплитуды  $k$ -х гармоник,  $\varphi$ ,  $\varphi'$  — их фазовые сдвиги.

Для разделения выходного напряжения АП на составляющие, пропорциональные емкостям датчика, сигналы  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  должны отличаться по амплитуде, фазе или формой. Следует отметить, что использование сигналов  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , различных по частоте, не обеспечивает полной коррекции погрешности преобразования емкости датчика в активную электрическую величину, а приводит лишь к ее снижению. Рассмотрим возможные варианты формирования напряжений  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , функции которых образуют систему базисных функций временного разделения каналов.

Пусть указанные напряжения формируются таким образом, что они различаются только по амплитуде, т. е.  $K_1(t) \neq K_2(t)$ , а

$$U_{rk} = U'_{rk}, \varphi_k = \varphi'_k. \quad (4)$$

Тогда условия ортогональности системы (3), состоящей из функций  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , и линейной независимости этих функций будут выполнены, если функции, описывающие  $K_1(t)$ ,  $K_2(t)$ , во-первых, составляют ортогональную систему и, во-вторых, между ними существует нелинейная зависимость. Таким требованиям удовлетворяют коммутрующие функции [3], описывающие коэффициенты передачи ключей, причем при однократном преобразовании (за время цикла преобразования  $T_{ц}$ ) коммутрующие функции имеют вид

$$K_1(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < T_{ц} / 2; \\ 0, & T_{ц} / 2 < t < T_{ц}, \end{cases} \text{ и } K_2(t) = \begin{cases} 0, & 0 < t < T_{ц} / 2; \\ 1, & T_{ц} / 2 < t < T_{ц}. \end{cases}$$

Так как  $K_1(t)$ ,  $K_2(t)$  поочередно принимают значения 1 и 0, для формирования напряжений  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  следует использовать ключи, которые поочередно коммутируют конденсаторы датчика и соответствующие им напряжения. Следовательно, в АП происходит традиционное разделение каналов, и метод такого разделения каналов преобразования пассивных величин называется методом коммутаций [1]. Выходное напряжение генератора может быть как синусоидальным, так и иметь сложную форму, но при этом оно должно соответствовать изложенным выше требованиям. Поскольку произведение коммутующих функций равно нулю, интеграл от их произведения тоже равен нулю. Таким образом, функции  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  в данном случае составляют ортогональную систему. С учетом условия (4) система базисных функций (3) разделения каналов по методу коммутаций для выходного сигнала генератора любой формы (полисигнала) выражается как

$$\left. \begin{aligned} U_1(t) &= K_1(t) \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) &= K_2(t) \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Для синусоидального выходного сигнала генератора (моносигнала) ( $n = 1$ ,  $\varphi_k = 0$ ) система базисных функций (5) преобразуется к виду

$$\left\{ \begin{aligned} U_1(t) &= K_1(t) U_r \sin \omega t; \\ U_2(t) &= K_2(t) U_r \sin \omega t. \end{aligned} \right.$$

При реализации бескоммутационных методов временного разделения каналов выделение основного сигнала и корректирующего воздействия следует осуществлять по временным или частотным характеристикам напряжений  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ . Когда  $K_1(t) = K_2(t) = 1$  и для преобразования рабочей и опорной емкостей датчика одновременно используются тест-сигналы, одинаковые по форме, но сдвинутые между собой во времени на  $t_{\varphi}$  (фазовое разделение каналов), между напряжениями  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  имеется фазовый сдвиг  $\varphi$ , т. е.  $\varphi = \omega t_{\varphi}$ . Для обеспечения временного разделения каналов система, состоящая из функций напряжений  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , должна быть ортогональной. Если принять, что  $U_1(t)$  — нечетная функция, то в системе базисных функций (3)  $\varphi_k = 0$ . Поскольку функции  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$  являются периодическими, а разделение каналов осуществляется сдвигом одного из напряжений относительно другого на некоторый угол  $\varphi$ , имеет смысл рассматривать ортогональность системы указанных функций как функциональную зависимость от фазового сдвига  $\varphi$ , т. е.  $U_1(\varphi)$  и  $U_2(\varphi)$  для любого момента времени  $t$ :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U_1(\varphi) U_2(\varphi) d\varphi &= \frac{1}{2\pi} \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin k\omega t \times \\ &\times \sum_{k=1}^n U_{rk} \int_0^{2\pi} \sin(k\omega t + k\varphi) d\varphi = 0. \end{aligned}$$

Из приведенного выражения следует, что подынтегральная функция — периодическая с периодом  $2\pi$ , и поэтому система, образованная функциями  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , является ортогональной на любом отрезке, длина которого равна периоду. Учитывая, что  $K_1(t) = K_2(t) = 1$  и  $\varphi_k = 0$ , система базисных функций (3) примет вид

$$\left. \begin{aligned} U_1(t) &= \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin k\omega t; \\ U_2(t) &= \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin k(\omega t + \varphi). \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

При фазовом разделении каналов в качестве элементов системы базисных функций можно использовать как полигармонические сигналы, так и моносигналы. В случае применения в ИЦ полисигналов базисная система описывается системой (6), а при применении моносигналов базисная система получается из (6) при  $n = 1$ :

$$\left\{ \begin{aligned} U_1(t) &= U_r \sin \omega t; \\ U_2(t) &= U_r \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \right.$$

Другой пример бескоммутационных методов временного разделения каналов — использование различающихся по форме сигналов (метод полигармонических тест-сигналов [2]). Сигналы  $U_1(t)$ ,  $U_2(t)$ , записанные в виде ряда Фурье, с учетом всех предъявляемых к ним требований имеют вид

$$U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \quad U_2(t) = \sum_{k=1}^n U'_{rk} \sin(k\omega t + \varphi'_k).$$

Чтобы эти напряжения могли составить систему базисных функций, необходимо выполнить условие их ортогональности

$$\frac{1}{T} \int_0^T U_1(t) U_2(t) dt = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n U_{rk} U'_{rk} \cos(\varphi_k - \varphi'_k) = 0,$$

откуда следует, что оно достигается при  $\varphi_k - \varphi'_k = \pi/2 + \pi m$ , где  $m$  — множество целых чисел. Таким образом, один из сигналов при разложении в ряд Фурье должен иметь только «синусные» составляющие, а второй — только «косинусные». Это можно обеспечить, формируя  $U_2(t)$ , например, интегрированием или дифференцированием напряжения  $U_1(t)$ . Если

первый сигнал описывается как  $U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k)$ , то

система базисных функций будет иметь вид

$$\begin{cases} U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = \sum_{k=1}^n k\omega U_{rk} \cos(k\omega t + \varphi_k) \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = \sum_{k=1}^n \frac{-1}{k\omega} U_{rk} \cos(k\omega t + \varphi_k). \end{cases}$$

Полученные выше системы базисных функций временного разделения каналов ИЦ датчиков сведены в таблицу, пользуясь которой можно выбрать систему базисных функций в соответствии с методом разделения каналов. Методам коммутации и фазового разделения каналов соответствуют две базисные системы, причем одна из них предполагает использование синусоидальных тест-сигналов, или моносигналов ( $n = 1$ ), а другая — сигналов, имеющих в своем составе несколько гармоник, или полисигналов ( $n > 1$ ). Методу полигармонических тест-сигналов также соответствуют две базисные системы, в которых элементами служат полисигналы. Выбор того или иного метода временного разделения каналов, а следовательно, и системы базисных функ-

Системы базисных функций для измерительной цепи емкостного датчика

Применение	Система базисных функций	
Частотная плоскость	$\begin{cases} U_1(t) = K_1(t) \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = K_2(t) \sum_{k=1}^n U'_{rk} \sin(k\omega t + \varphi'_k) \end{cases}$	
Метод коммутаций	$n = 1$	$n > 1$
	$\begin{cases} U_1(t) = K_1(t) U_r \sin \omega t; \\ U_2(t) = K_2(t) U_r \sin \omega t \end{cases}$	$\begin{cases} U_1(t) = K_1(t) \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = K_2(t) \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k) \end{cases}$
Метод фазового разделения каналов	$\begin{cases} U_1(t) = U_r \sin \omega t; \\ U_2(t) = U_r \sin(\omega t + \varphi) \end{cases}$	$\begin{cases} U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin[k(\omega t + \varphi) + \varphi_k] \end{cases}$
Метод полигармонического разделения каналов	$n > 1$	
	$U_2(t) = \partial U_1(t) / \partial t$	$U_2(t) = \int U_1(t) dt$
	$\begin{cases} U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = \sum_{k=1}^n k\omega U_{rk} \cos(k\omega t + \varphi_k) \end{cases}$	$\begin{cases} U_1(t) = \sum_{k=1}^n U_{rk} \sin(k\omega t + \varphi_k); \\ U_2(t) = \sum_{k=1}^n \frac{-U_{rk}}{k\omega} \cos(k\omega t + \varphi_k) \end{cases}$

ций, обуславливается требованиями технического задания. На основе выбранного «базиса» можно сформировать напряжения, подаваемые на рабочий и опорный элементы датчика для разделения каналов преобразования, а система координат, созданная функциями выбранной базисной системы, обеспечит выделение из напряжения активного преобразователя составляющих, пропорциональных емкостям рабочего и опорного конденсаторов датчика, отношение которых пропорционально преобразуемому измерительной цепью параметру независимо ни от идеальности активного преобразователя, ни от параметров соединительного кабеля.

#### Л и т е р а т у р а

1. **Бромберг Э. М., Куликовский К. Л.** Тестовые методы повышения точности. М.: Энергия, 1976.
2. **Арбузов В. П.** Структурные методы повышения точности измерительных цепей емкостных и индуктивных датчиков. Пенза: Инф.-изд. центр Пенз. гос. ун-та, 2008.
3. **Скрипник Ю. А.** Повышение точности измерительных устройств. Киев: Техника, 1976.

Дата принятия 01.12.2011 г.

## НАНОМЕТРОЛОГИЯ

681.2.089

# Методика калибровки сканирующего оптического микроскопа ближнего поля при измерении геометрических параметров объектов в режиме квазитрения

**А. Ю. КУЗИН\*, П. А. ТОДУА\*, В. И. ПАНОВ\*\*, А. А. ЕЖОВ\*\*,  
Д. А. МУЗЫЧЕНКО\*\***

\* Научно-исследовательский центр по изучению свойств поверхности и вакуума,  
Москва, Россия, e-mail: fgurnicpv@mail.ru

\*\* Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва,  
Россия, e-mail: panov@phys.msu.ru

*Продемонстрирована возможность использования дифракционной решетки, изготовленной методом лазерного фотоиндуцированного травления поверхности (001) монокристаллического InP и моноатомных ступеней на поверхности (0001) высокоориентированного пиролитического графита в качестве эталонных объектов для калибровки сканирующего ближнепольного оптического измерительного микроскопа, работающего в режиме квазитрения.*

**Ключевые слова:** сканирующий оптический микроскоп ближнего поля, дифракционная решетка, пиролитический графит.

*The possibility of application of diffraction grating manufactured by laser photo-induced etching of monocrystal InP (001) surface and of monoatomic steps on the surface (0001) of highly oriented pyrolytic graphite as reference samples for calibration of scanning near-field optical microscope working in shear-force mode has been demonstrated.*

**Key words:** scanning near-field optical microscope, diffraction grating, pyrolytic graphite.

Развитие нанотехнологий приводит к необходимости решать измерительные задачи, направленные на обеспечение единства измерений в нанометровом диапазоне, а также требует разработки новых и совершенствования существующих методов измерений характеристик материалов и диагностики процессов в низкоразмерных структурах. Опираясь на объекты нанометровых размеров, следует учитывать специфику нанообъектов, чтобы обеспечивать полноту измерений их параметров характеристик в нанометровом диапазоне, опираясь на стандартизированные методики. В на-

нотехнологиях представляется крайне важным получение информации о геометрических параметрах поверхности изучаемых объектов, их локальных физико-химических свойствах и протекающих процессах в нанометровом диапазоне. Ключевую роль здесь играет создание методик измерений с помощью сканирующих зондовых микроскопов (СЗМ) различных типов.

Среди СЗМ особое место занимают сканирующие оптические микроскопы ближнего поля (СОМБП). Они предназначены для измерений свойств электромагнитных полей