

УДК 681.23:681.787.7

© Е. Е. Майоров, В. Т. Прокопенко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКЛ-СТРУКТУРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО СИГНАЛА И ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ

Проведено исследование влияния спекл-структуры при отражении от диффузной поверхности на формирование огибающей интерференционного сигнала и оценена погрешность измерений. Рассмотрены свойства спекл-полей, являющиеся ключевыми при исследовании характеристик когерентно-ограниченных систем контроля поверхностей. Выявлены источники погрешности измерений. Рассмотрены методы обработки интерференционного сигнала, и предложена модель априорной оценки погрешности измерений.

Кл. сл.: спекл-структура, интерференционный сигнал, диффузно-отражающая поверхность, плотность вероятности распределения ошибки, функция автокорреляции интенсивности

ВВЕДЕНИЕ

Получение высокоточной и достоверной информации о геометрических параметрах поверхности объектов всегда являлось важной задачей метрологии. В настоящее время для решения указанной задачи существует широкий класс методов и технических средств, которые подразделяются на контактные и бесконтактные. Контактные методы реализуются в различных конструкциях механических щупов. В настоящее время ведущие фирмы-производители оптико-механических приборов, такие как Carl Zeiss, Renishaw [1], производят контактные щупы, позволяющие измерять рельеф поверхности с точностью до 1.0–0.1 мкм. Основными недостатками контактных методов являются низкая производительность, требование хорошей виброзащиты, относительно быстрый износ щупового элемента. Кроме того, использование контактных методов измерений может оказывать негативное влияние на объекты с малой устойчивостью к механическому воздействию. Поэтому на использование контактных методов накладывается ограничение по классу контролируемых объектов. Также контактные методы непригодны для решения динамических задач. Указанные недостатки исключаются применением бесконтактных методов контроля. Важное место среди них занимают оптические методы. Оптические методы измерений рельефа поверхности и работа соответствующих приборов основаны на анализе светового излучения, отраженного от контролируемой поверхности. Анализ литературных данных показал, что наиболее перспективными в этом классе приборов являются интерферометрические

бесконтактные приборы, в которых используются источники излучения с ограниченной длиной временной когерентности. Приборы указанного типа имеют ряд преимуществ по сравнению с аналогичными устройствами геометрической оптики, а именно: точность, диапазон измерений, а также расстояние до контролируемой поверхности не зависят от апертурных углов освещения и наблюдения [1–4]. Эти приборы по точности измерений не уступают контактным, малогабаритны, удовлетворяют требованиям производственного контроля, просты в эксплуатации. Однако, несмотря на определенные успехи в практическом использовании систем с когерентно-ограниченным излучением, теоретический анализ их функционирования явно недостаточен. Остаются нерешенными многие вопросы построения и эксплуатационных характеристик указанных систем [1–4]. Отсутствуют какие-либо данные анализа метрологии неплоских поверхностей, решения проблем, связанных с использованием оптических приборов данного типа. Выяснение этих вопросов необходимо для расширения функциональных возможностей когерентно-ограниченных измерительных систем, повышения информационного содержания измерений и более широкого их внедрения в производственную практику.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА СПЕКЛ-СТРУКТУРЫ

При освещении диффузной поверхности лазерным излучением в отраженном свете наблюдается картина спеклов [5]. Рассмотрим схему, представленную на рис. 1. Каждая точка освещенной

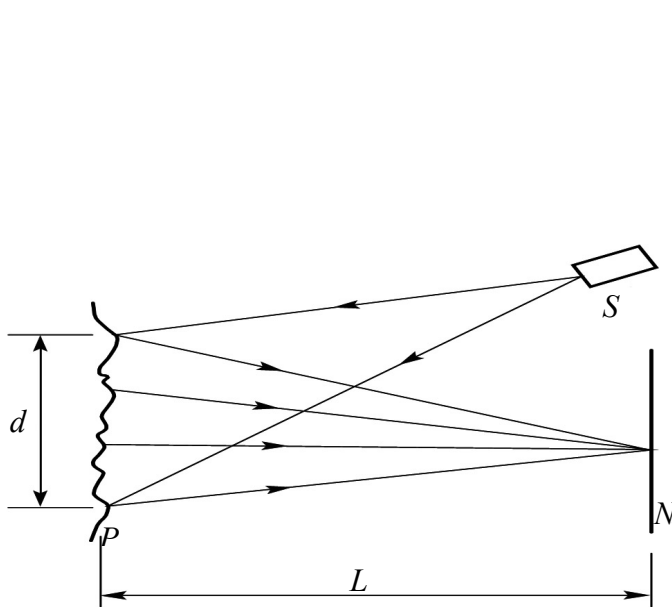


Рис. 1. Схема получения спекл-структуры при отражении от диффузной поверхности.
 S — источник когерентного излучения; P — диффузная поверхность; N — плоскость наблюдения

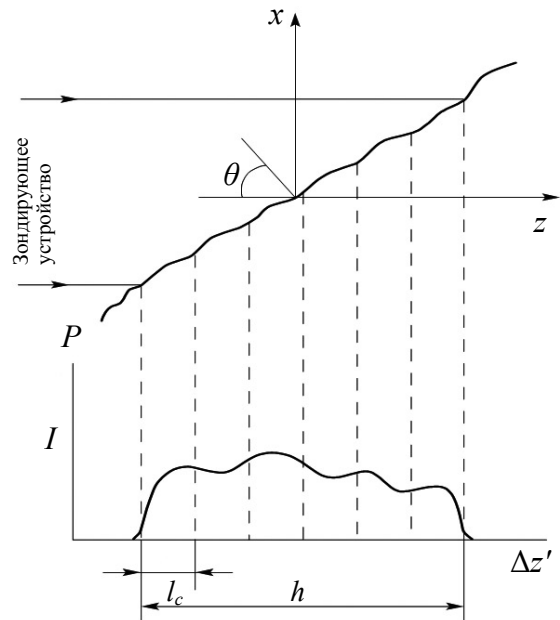


Рис. 2. Моделирование процесса формирования огибающей интерференционного сигнала.
 P — поверхность объекта; θ — угол падения; I — распределение интенсивности отраженного светового потока по зонам

поверхности рассеивает некоторое количество света в направлении экрана. Вследствие высокой пространственной и временной когерентности лазерного излучения световые волны, рассеянные всеми точками поверхности, также когерентны. В результате сложения элементарных волн на экране наблюдается интерференционная картина — хаотическое чередование светлых и темных пятен, называемых спеклами. Существование такой картины есть результат сложения всех рассеянных элементарных волн с учетом разности фаз, обусловленной случайной вариацией микрорельефа поверхности.

В работе [6] рассчитаны основные статистические свойства спекл-картин при условии, что

- амплитуда и фаза каждой отдельной световой волны статистически независимы;
- фазы всех волн равномерно распределены по значениям в интервале от $-\pi$ до π .

Как показано в [6], распределение освещенности подчиняется следующему закону:

$$p(I) = \frac{1}{\langle I \rangle} \exp\left(-\frac{I}{\langle I \rangle}\right), \quad (1)$$

где $p(I)$ — плотность вероятности освещенности I ;

$\langle I \rangle$ — средняя освещенность.

Свойства спекл-картины зависят от способа ее образования. В соответствии с введенной Д. Габором терминологией [7] спекл-картину, наблюдаемую на некотором расстоянии от диффузно-рассеивающей поверхности, как показано на рис. 1, называют объективной (в отличие от субъективной, формируемой в плоскости изображения оптической системы). Функция автокорреляции для объективной спекл-картины, возникающей при однородном освещении области поверхности диаметром d , имеет вид

$$R_I(x, y) = \langle I \rangle^2 \left[1 + \sin^2 \frac{dx}{\lambda L} \sin^2 \frac{dy}{\lambda L} \right], \quad (2)$$

где $R_I(x, y)$ — функция автокорреляции интенсивности I спекл-картины в плоскости наблюдения x, y , L — расстояние от рассеивающей поверхности до плоскости наблюдения, λ — длина волны излучения.

Ширина функции автокорреляции совпадает с расстоянием между точками с максимальной и минимальной интенсивностями. Это расстояние принимается за характерный размер элемента спекл-картины, называемого индивидуальным спеклом. Из (2) следует, что

$$b_s = 1.22 \frac{\lambda L}{d}, \quad (3)$$

где b_s — характерный размер индивидуального спекла.

Рассмотренные свойства спекл-полей являются ключевыми при исследовании характеристик когерентно-ограниченных систем контроля поверхностей.

МОДЕЛЬ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СПЕКЛОВ

Рассмотрим наклонное падение освещающего пучка на поверхность объекта (рис. 2). Всю глубину сцены h разобьем на n равных зон. Критерий выбора длины отдельной зоны заключается в следующем. Поставим условие, чтобы излучение, рассеянное поверхностью в пределах одной зоны, содержало лишь полностью коррелированные компоненты. С вероятностью, равной единице, этого можно добиться, когда рассеянное одной зоной излучение будет содержать один спекл. На практике на выходе интерферометра перед фотоприемником помещается фокусирующая линза. Поэтому поставленное выше условие будет выполнено, если размер отдельной зоны будет меньше (или равен) дифракционного предела разрешения линзы [1–4, 8].

Таким образом, предлагаемая модель анализа интерференционного сигнала предполагает следующее. Глубина сцены освещенного участка поверхности разбивается на n зон. Длина каждой зоны равна длине когерентности источника l_c . Излучение, отраженное от поверхности одной зоны, в плоскости регистрации представлено одним спеклом. Световые сигналы от каждой зоны независимы [1–4, 8].

При анализе уравнения интерференции (2) отмечалось, что момент нулевой разности хода может быть определен по максимальному значению

выходного сигнала. Однако при искажении формы огибающей перемещение опорного зеркала может сопровождаться появлением нескольких максимумов. Поэтому при наличии неоднозначности необходимо прежде всего сформулировать критерий принятия решения по определению момента времени, максимально соответствующего нулевой разности хода интерферирующих пучков. Ниже рассматриваются два подхода к анализу огибающей выходного сигнала:

- 1) метод площадей;
- 2) метод дифференцирования огибающей.

Анализ методов будет проводиться с использованием предложенной выше модели.

МЕТОД ПЛОЩАДЕЙ

Рассмотрим графическое изображение огибающей выходного сигнала в зависимости от смещения опорного зеркала $\Delta z'$ (рис. 3). Пусть S — площадь, ограниченная огибающей и осью $\Delta z'$. Сущность метода площадей заключается в следующем. В качестве искомой величины смещения опорного зеркала будем считать точку $\Delta z'_s$, которая делит площадь S на две равные части, т. е.

$$S_1 = S_2.$$

Разобьем глубину сцены h на n зон, как показано на рис. 3. Тогда аналитическое выражение предлагаемого критерия будет иметь следующий вид:

$$\int_0^{\Delta z'_s} U(\Delta z') d(\Delta z') = \int_{\Delta z'_s}^h U(\Delta z') d(\Delta z'), \quad (4)$$

где $U(\Delta z')$ — огибающая выходного сигнала.

Найдем среднеквадратическую ошибку измерения при обработке сигнала с использованием рассматриваемого метода.

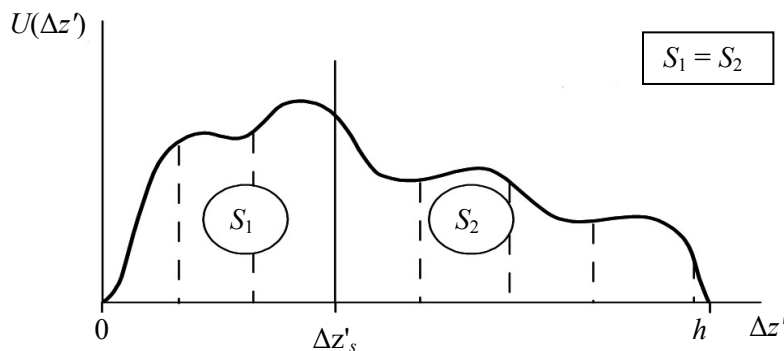


Рис. 3. Анализ огибающей выходного сигнала по методу площадей.
 h — глубина сцены освещенного участка поверхности

Пусть U_o — среднее значение амплитуды сигнала. Тогда средняя величина сигнала, соответствующего одной зоне, равна

$$U_s = \frac{U_o}{n}, \quad (5)$$

где n — число зон.

Воспользуемся следующим свойством распределения интенсивности спекл-картины: квадратный корень из среднего квадрата флуктуаций интенсивности равен среднему значению интенсивности [9]. В этом случае дисперсия сигнала, соответствующего одной зоне, будет равна средней амплитуде сигнала одной зоны:

$$\sqrt{\langle (U - U_s)^2 \rangle} = \frac{U_o}{n}. \quad (6)$$

С учетом (6) найдем среднеквадратическое отклонение амплитуды сигнала от среднего значения на участках $(0 - \Delta z'_s)$ и $(\Delta z'_s - h)$. Для этого воспользуемся еще одним свойством спекл-структуры [6]: дисперсия суперпозиции интенсивностей n спеклов увеличивается в $\sqrt{n}$ раз по сравнению с одним спеклом. Следовательно,

$$\sigma(U_1) = \frac{U_o}{n} \sqrt{\frac{n}{2} - \frac{\sigma_z}{l_c}}, \quad (7)$$

$$\sigma(U_2) = \frac{U_o}{n} \sqrt{\frac{n}{2} + \frac{\sigma_z}{l_c}}, \quad (8)$$

где $\sigma(U_1)$, $\sigma(U_2)$ — среднеквадратическое отклонение амплитуды сигнала на участках $(0 - \Delta z'_s)$ и $(\Delta z'_s - h)$ соответственно; σ_z — среднеквадратическая величина флуктуаций положения точки $\Delta z'_s$; l_c — длина когерентности.

Далее обратимся к выражению (4). Условие равенства составляющих площадей, справедливое для одной из реализаций огибающей выходного сигнала, должно также выполняться для ее средних значений.

А именно,

$$\int_0^{\Delta z'_s} [U_o + \sigma(U_1)] d(\Delta z') = \int_{\Delta z'_s}^h [U_o - \sigma(U_1)] d(\Delta z'). \quad (9)$$

Подставляя в (9) выражение для $\sigma(U_1)$ и $\sigma(U_2)$, получим

$$\int_0^{\Delta z'_s} \left[U_o + \frac{U_o}{n} \sqrt{\frac{n}{2} - \frac{\sigma_z}{l_c}} \right] d(\Delta z') =$$

$$= \int_{\Delta z'_s}^h \left[U_o - \frac{U_o}{n} \sqrt{\frac{n}{2} - \frac{\sigma_z}{l_c}} \right] d(\Delta z'). \quad (10)$$

После проведения преобразований и интегрирования условие (10) перепишем в виде

$$2\Delta z'_s U_o + \frac{U_o \sigma_z}{n^2 l_c} \sqrt{\frac{n}{2}} (2\Delta z'_s - h) = U_o h \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2n}} \right). \quad (11)$$

Очевидно, что среднее значение точки равенства площадей S_1 и S_2 равно $h/2$, и

$$\Delta z'_s = \frac{h}{2} + \sigma_z. \quad (12)$$

Окончательно подставляя (12) в (11) и решая уравнение относительно σ_z , получим следующую формулу для ошибки измерения:

$$\sigma_z = \frac{nl_c}{2\sqrt{2n}} = \frac{\sqrt{hl_c}}{2\sqrt{2}}. \quad (13)$$

Полученная формула выражает зависимость погрешности измерений рельефа поверхности от глубины сцены h при обработке сигнала по критерию равенства площадей, ограниченных огибающей. Поскольку глубина сцены при фиксированной величине светового пятна определяется углом падения зондирующего излучения, то формулу (13) можно переписать в виде

$$\sigma_z = \frac{\sqrt{dl_c \operatorname{tg} \theta}}{2\sqrt{2}}, \quad (14)$$

где d — диаметр зондирующего пятна.

Результаты расчета погрешности измерения в зависимости от угла падения зондирующего пучка для различных размеров пятна d представлены на рис. 4.

МЕТОД ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ОГИБАЮЩЕЙ

Наклонное падение освещающего пучка приводит к декорреляции спекл-полей [1–4], формирующих объектный сигнал. Огибающая выходного сигнала принимает сложную форму с несколькими максимумами. Случайный характер распределения локальных максимумов по длительности сигнала делает невозможным безошибочное принятие решения по какому-либо максимуму. Поэтому задача заключается в привязке к конкретному максимуму и оценке ошибки, обусловленной этим выбором.

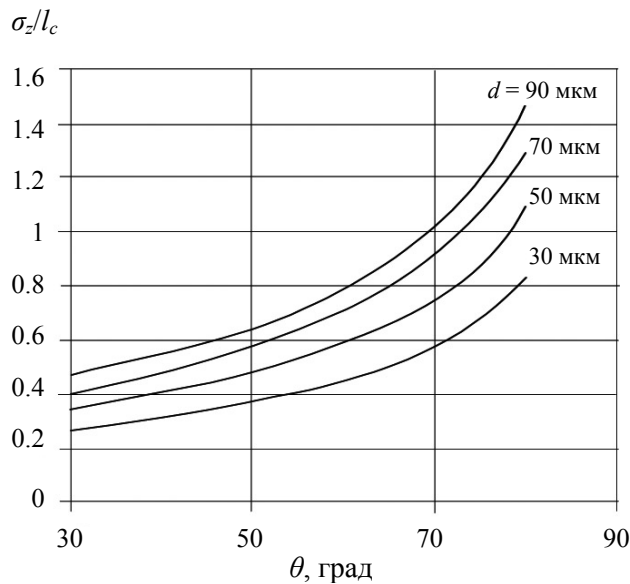


Рис. 4. Зависимость погрешности измерения от угла падения излучения для различных размеров зондирующего пятна d

В качестве критерия принятия решения предлагается следующий: искомым смещением опорного зеркала $\Delta z'$ будем считать такое, которое соответствует первому нулю производной огибающей выходного сигнала. На рис. 5 такая точка обозначена $\Delta z'_d$. Для оценки ошибки, возникающей при применении предложенного критерия, будем использовать рассмотренную ранее модель источников индивидуальных спеклов.

Поскольку на практике глубина сцены h не превышает, как правило, $5l_c$, ограничим анализ погрешности измерений моделью, не превышающей 5 зон. Суть расчета погрешности заключается в определении вероятностей распределения локальных максимумов огибающей выходного сигнала. Расчет проведем для конкретных вариантов распределения интенсивности. В соответствии с предложенным критерием принятия решения — определение первого нуля производной огибающей — будем считать, что ошибка в принятии решения δ_{zo} равна нулю, если первый максимум огибающей находится в центральной зоне (рис. 5, б). Будем считать, что ошибка при нахождении максимума в i -й зоне равна

$$\delta_{zi} = l_c (i_m - i_0),$$

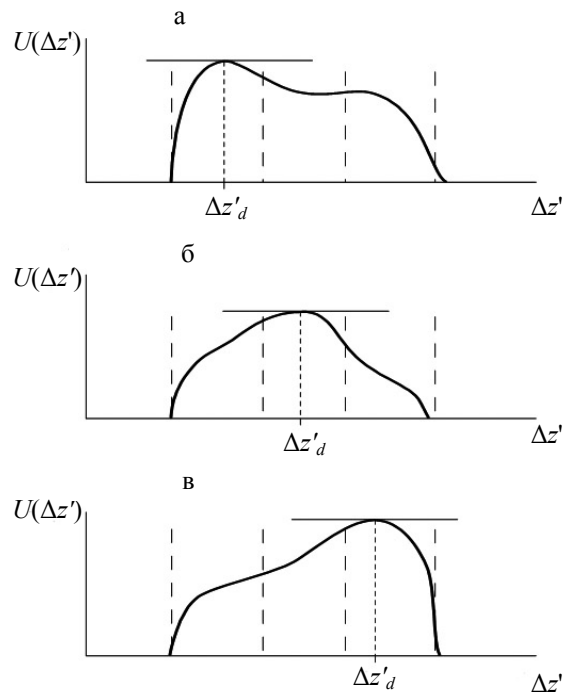


Рис. 5. Метод дифференцирования огибающей выходного сигнала. Зонная модель анализа, число зон $n = 3$

где l_c — длина когерентности, i_m — номер зоны, в которой находится первый максимум, i_0 — номер центральной зоны.

Найдем вероятности отклонений положений максимумов от центральной зоны. Для расчета воспользуемся функцией плотности вероятности распределения интенсивности в спекл-структуре [6]:

$$p(I_i) = \frac{1}{I_o} \exp\left(-\frac{I_i}{I_o}\right), \quad (15)$$

где I_i — интенсивность i -й зоны, I_o — средняя величина интенсивности.

Пусть угол падения зондирующего излучения такой, что глубина сцены h разбивается на три зоны.

1. Найдем вероятность того, что первый ноль производной огибающей находится в первой зоне (рис. 5, а), т. е. $I_1 > I_2, I_3$:

$$P_1 = \int_0^{I_m} \int_0^{I_1} [p(I) dI] p(I_1) dI_1,$$

где I_m — максимальная величина интенсивности спекла, $\int_0^{I_1} p(I) dI$ — вероятность того, что интен-

сивность 2-й зоны меньше интенсивности 1-й.

Произведение интегралов есть вероятность того, что $I_1 > I_2, I_3$. Выполним интегрирование, используя (15), а также свойство распределения интенсивности спекл-структуры, согласно которому $I_m/I_o \gg 1$:

$$P_1 = \lim_{I_m/I_o \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{2} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^2 - \exp \frac{-I_m}{I_o} + \frac{1}{2} \right].$$

Произведя вычисления, найдем

$$P_1 = \frac{1}{2}.$$

Полученный результат интерпретируется следующим образом: для рассмотренного варианта реализации огибающей ошибка получения информации о рельефе поверхности равна $\delta_1 = -l_c$ при вероятности $P_1 = 1/2$.

2. Вычислим вероятность того, что $I_2 > I_3, I_1$ (рис. 5, б):

$$\begin{aligned} P_2 &= \int_0^{I_m} \int_{I_1}^{I_m} \left[\int_{I_1}^{I_2} p(I) dI \int_0^{I_2} p(I) dI \right] p(I_2) p(I_1) dI_2 dI_1 = \\ &= -\frac{1}{6} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^3 + \frac{1}{24} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^4 + \\ &\quad + \frac{1}{4} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^2 - \frac{1}{6} \exp \frac{-I_m}{I_o} + \frac{1}{24}, \end{aligned}$$

где $\int_{I_1}^{I_2} p(I) dI$ — вероятность того, что $I_2 > I_1$,

$\int_0^{I_2} p(I) dI$ — вероятность того, что $I_2 > I_1, I_3$.

После проведения вычислений получим: ошибка $\delta_2 = 0$ при вероятности $P_2 = 1/24$.

Табл. 1. Среднеквадратические ошибки измерений при 2–3 зонах

№ зоны i	2 ЗОНЫ ($n = 2$)			3 ЗОНЫ ($n = 3$)		
	P_i	δ_i	σ_{z2}	P_i	δ_i	σ_{z3}
– 2	0	$-l_c$	$0.5 l_c$	0	$-2 l_c$	$0.96 l_c$
– 1	0.5	$-0.5 l_c$		0.5	$-l_c$	
0	—	—		0.042	0	
1	0.5	$0.5 l_c$		0.008	l_c	
2	0	l_c		0	$2 l_c$	

Табл. 2. Среднеквадратические ошибки измерений при 4–5 зонах

№ зоны i	4 ЗОНЫ ($n = 4$)			5 ЗОН ($n = 5$)		
	P_i	δ_i	σ_{z4}	P_i	δ_i	σ_{z5}
– 3	0	$-2.5 l_c$	$1.43 l_c$	0	$-3 l_c$	$1.93 l_c$
– 2	0.5	$-1.5 l_c$		0.5	$-2 l_c$	
– 1	0.042	$-0.5 l_c$		0.042	$-l_c$	
0	—	—		0.008	0	
1	0.008	$0.5 l_c$		0.002	l_c	
2	0.002	$1.5 l_c$		0	$2 l_c$	
3	0	$2.5 l_c$		0	$3 l_c$	

3. Найдем вероятность того, что $I_3 > I_2 > I_1$ (рис. 5, в):

$$\int_0^{I_m} \int_{I_1}^{I_m} \int_{I_2}^{I_m} p(I) dI \int_{I_2}^{I_3} p(I) dI p(I_3) p(I_2) p(I_1) dI_3 dI_2 dI_1 =$$

$$= \frac{1}{24} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^4 - \frac{1}{120} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^5 -$$

$$- \frac{1}{12} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^3 + \frac{1}{12} \left(\exp \frac{-I_m}{I_o} \right)^2 - \frac{1}{24} \exp \frac{-I_m}{I_o} + \frac{1}{120},$$

где $\int_{I_1}^{I_2} p(I) dI$ — вероятность того, что $I_2 > I_1$,

$\int_{I_2}^{I_3} p(I) dI$ — вероятность того, что $I_3 > I_2$.

Произведя вычисления, получим: ошибка $\delta_3 = I_c$ при вероятности $P_3 = 1/120$.

Аналогичным образом вычисляются вероятности нахождения максимумов огибающей для 2-, 4- и 5-зонной моделей. Результаты расчетов вероятностей P_i отклонений максимумов от зоны с нулевой ошибкой и соответствующих ошибок измерения δ_i приведены в табл. 1 и 2. Для удобства оценки ошибок начало отсчета номеров зон в таблицах смещено: нулевой номер присвоен центральной зоне — зоне с нулевой ошибкой. Графическое изображение функции распределения плотности вероятности по зонам показано на рис. 6. В табл. 1 и 2 приведены также расчеты среднеквадратических ошибок измерений σ_{zn} , где $n = 2, 3, 4, 5$ — общее число зон модели.

На рис. 7 показана рассчитанная зависимость среднеквадратической ошибки измерения от количества зон, укладываемых по глубине сцены h , т. е. от угла падения зондирующего излучения. Там же для сравнения приведены результаты расчета среднеквадратической ошибки измерения при обработке выходного сигнала по методу площадей.

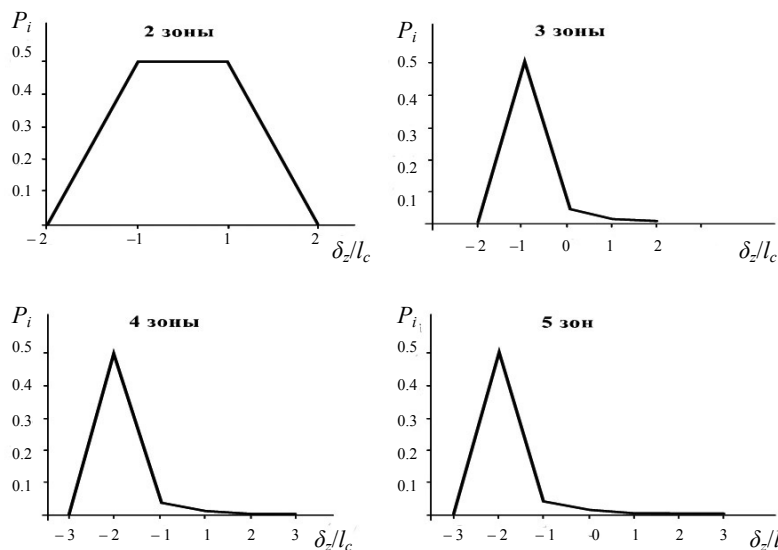


Рис. 6. Функция плотности вероятности распределения ошибки измерения δ_z при обработке выходного сигнала по методу дифференцирования огибающей

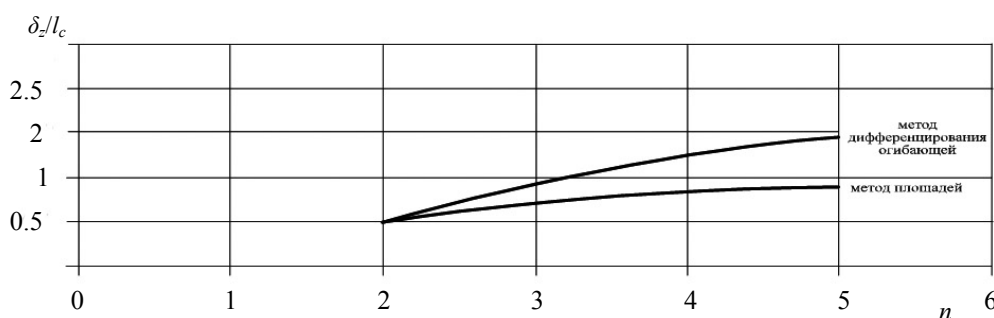


Рис. 7. Зависимость среднеквадратической ошибки измерения от глубины сцены

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное в данной работе исследование показало, что спекл-модуляция объектной волны является основной причиной влияния геометрии освещения на формирование интерференционного сигнала и погрешность измерений. Рассмотренные свойства спекл-полей являются ключевыми при исследовании характеристик когерентно-ограниченных систем контроля диффузно отражающих поверхностей. Для анализа интерференционного сигнала в этом случае предложена модель источников индивидуальных спеклов. Предложенная модель позволяет объяснить механизм формирования огибающей сигнала. Показано, что при деформации огибающей сигнала возникает неоднозначность в определении момента нулевой разности хода. Для этого случая предложены два критерия принятия решения и соответствующие методы обработки выходного сигнала: метод площадей и метод дифференцирования огибающей. Для каждого из методов определены погрешности измерения и рассчитаны соответствующие зависимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т., Ушверидзе Л.А. Оптимизация динамических параметров оптического щупа триггерного типа // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. Т. 78, № 2. С. 13–16.
2. Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т. Когерентно-ограниченная интерферометрическая система в исследовании биологических объектов // Медицинская техника. 2012. Т. 237, № 3. С. 24–26.
3. Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т., Ушверидзе Л.А. Расчет параметров сканирования интерферометрической системы контроля формы диффузно отражающих объектов // Приборы. 2012. Т. 145, № 7. С. 23–25.

4. Майоров Е.Е., Машек А.Ч., Прокопенко В.Т., Чистякова Н.Я. Исследование метрологических характеристик измерительной оптико-механической головки // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 7. С. 59–65.
5. Франсон М. Оптика спеклов / Пер. с франц. под ред. проф. Ю.И. Островского. М.: Мир, 1980. 171 с.
6. Goodman J.W. Statistical properties of laser speckle patterns // Laser speckle and related phenomena. Berlin: Springer-Verlag, 1975. P. 9–75.
7. Клименко Н.С. Голография сфокусированных изображений и спекл-интерферометрия. М.: Наука, 1985. 224 с.
8. Майоров Е.Е. Теоретический анализ точности измерения формы диффузно отражающего объекта с помощью интерферометра с источником ограниченной когерентности // Современные технологии. Труды молодых ученых ИТМО. СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. С. 61–63.
9. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голография / Пер. с англ. под ред. Ю.И. Островского. М.: Мир, 1973. 686 с.

Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, г. Санкт-Петербург (Майоров Е.Е.)

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Прокопенко В.Т.)

Контакты: Майоров Евгений Евгеньевич,
majorov_ee@mail.ru

Материал поступил в редакцию 14.11.2012

STUDY OF THE SPECKLE STRUCTURE INFLUENCE ON THE FORMATION OF THE INTERFERENCE SIGNAL AND MEASUREMENT ERROR

E. E. Mayorov¹, V. T. Prokopenko²

¹Northwest State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg

²National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg

Study of the influence of the speckle structure in the reflection from a diffuse surface on the formation of the interference signal envelope is performed, and measurement error is estimated. Properties of speckle fields are

key in the study of the characteristics of coherently bounded systems to control surfaces are examined. Sources of measurement error are identified. The methods of processing the interference signal are considered, and the model of a priori evaluation of measurement error is attached.

Keywords: speckle structure, interference signal, diffusely reflecting surface, probability density distribution of errors, autocorrelation function of the intensity