



кретизации T_0 равном интервалу корреляции τ_0 и равномерном распределении погрешности квантования. Во всех остальных случаях применение таких гистограмм увеличивает погрешность измерения, которая должна учитываться с помощью комплексного подхода к её определению.

Литература

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей: учеб. для вузов. - 6-е изд. стер. - М.: Высш. шк., 1999. - 576 с.
2. Заико А. И. Случайные процессы. Модели и измерения: учеб. пособие. - М.: Изд-во МАИ, 2006. - 207 с.
3. Заико А. И. Случайный процесс Заико с равномерным законом распределения // Вестник УГАТУ, 2008, Т.11, № 1(28). - С. 188-193.
4. Заико А. И. Теория точности статистических и спектральных измерений // Вестник УГАТУ. - 2000. - № 2. - С. 175-182.
5. Заико А. И. Комплексный подход к определению погрешностей // Датчики и Системы. - 2007. - № 8. - С. 52-59.
6. Заико А. И. Случайный сигнал с равномерным законом распределения // Измерительная техника. - 1999. - № 1. - С. 9-11.

О.А. Заякин

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТИ, КОНТРОЛИРУЕМОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ЛАЗЕРНЫМ КРУГЛОМЕРОМ

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Экспериментальный лазерный кругломер (двумерный лазерный триангулятор) [1] был разработан ранее в Самарском филиале Физического института РАН при участии автора. Его работа основана на методе триангуляции с использованием зеркально отраженного света зондирующего источника. Прибор предназначен для контроля круглости рабочих поверхностей внутренних колец подшипников.

Для проверки функции преобразования и оптимизации оптической схемы нужно математическое описание контролируемой рабочей поверхности детали. Все найденные автором в литературных источниках модели [2] являются одномерными. Однако трехмерной модели не было найдено. Она была создана автором самостоятельно.

Для получения расчетной функции преобразования модель поверхности должна отвечать требованиям геометрической оптики.

Модель поверхности представлена в данной работе как жесткий сплошной экран с коэффициентом отражения, равным единице. Для анализа функции преобразования требуется еще, чтобы поверхность в модели была гладкой. Это



означает, что отражение от каждого ее точечного участка описывается так же, как и отражение луча от плоскости, ориентированной перпендикулярно локальной нормали к моделируемой поверхности в ее освещенной точке. Минимальные воспроизводимые в модели детали рельефа поверхности ограничиваются размером светового пятна, которое перемещается по контролируемой поверхности при ее сканировании.

Уравнение восстановленной поверхности $F(\vec{r}) = 0$ (см. рис. 1):

$$F(\vec{r}) = F_0(\vec{r}_0) + F_1(\vec{\Delta r}), \quad (1)$$

где \vec{r}_0 и \vec{r} - радиус-векторы точки номинальной и восстановленной поверхностей; $\vec{\Delta r} = \vec{r} - \vec{r}_0$; $F_0(\vec{r}_0) = 0$ - уравнение номинальной поверхности.

Функция $F_1(\vec{\Delta r})$, которая выводится из $F_1(\vec{\Delta r}) = 0$, определяет отклонения формы реальной поверхности от номинальной формы.

Для анализа удобно представить 2-е слагаемое в (1) в виде явной скалярной функции $h(\vec{r}_0)$. Эта функция ставит в соответствие каждой точке номинальной поверхности значение высоты отклонения формы, отсчитанной от этой точки.

Пусть $\vec{\Delta r}(\vec{r}_0)$ не перпендикулярен номинальной поверхности. Рассмотрим точки на поверхности, определяемые \vec{r}_0 и \vec{r}_{02} (см. рис. 1). Различие высот в этих двух точках не превосходит величины $0,05 \text{ рад}$. Тогда искомая функция

$$h(\vec{r}_0) \cong \frac{(\vec{\Delta r} \cdot \vec{s})}{|\vec{s}|}, \quad (2)$$

где $\vec{s} = \vec{s}(\vec{r}_0) = \pm \text{grad } F_0$ (имеется ввиду градиент в физических координатах). В системе цилиндрических координат $\{\rho, \varphi, z\}$:

$$\text{grad } F_0 = \left(\frac{\partial F_0}{\partial \rho}, \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial F_0}{\partial \varphi}, \frac{\partial F_0}{\partial z} \right), \quad (3)$$

где ρ, φ, z - соответственно радиусная, азимутальная и осевая координаты. Функция $\vec{s}(\vec{r}_0)$ определяет перпендикуляр в каждой точке номинальной поверхности.

Функцию $h(\vec{r}_0)$ назовем «функцией отклонения от номинальной формы». Отсчет h ведем в радиальном направлении.

Представим $h(\vec{r}_0)$ в виде топограммы.

Для того чтобы моделировать типичную поверхность, нами использованы статистически усредненные спектральные зависимости, характеризующие амплитуды пространственных гармоник профилей этой поверхности. Эти зависимости получают, считая профили поверхности реализациями случайного процесса. Каждая из этих зависимостей относится к множеству однотипных профилей. Она представляет собой функцию спектральной плотности мощности указанного случайного процесса. Преимущества этого подхода в



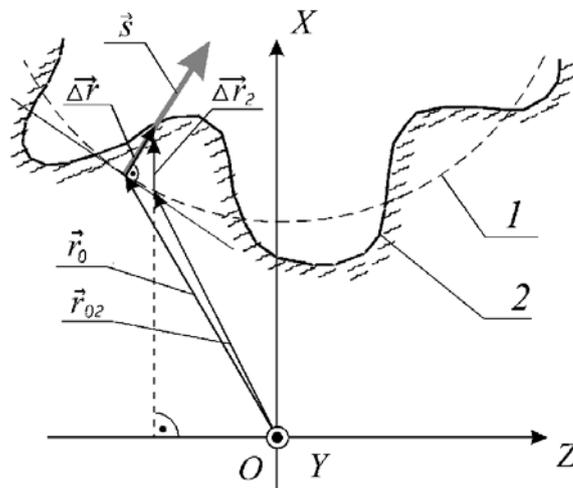
том, что, во-первых, таким путем нетрудно получить замкнутые профили, а во-вторых, из спектрального представления профилей поверхности нетрудно получить ее топограмму.

Опишем, как может быть получен из указанной функции соответствующий ей модельный профиль поверхности. Основываясь на соотношениях между спектральными и статистическими характеристиками шероховатости поверхности, приведенными в [3], считаем, что для этого достаточно выполнить следующие два условия. Во-первых, отсчеты амплитуд гармоник профиля моделируемой поверхности следует расположить равномерно по оси абсцисс и совместить с графиком зависимости, представляющей собой квадратный корень из названной функции спектральной плотности мощности. График данной зависимости при этом служит огибающей дискретного спектра гармоник. И, во-вторых, начальные фазы гармоник не должны коррелировать между собой.

Мы моделируем бездефектную поверхность, то есть поверхность, удовлетворяющую требованиям к ее качеству формы. Числовые коэффициенты в формулах, описывающих такую бездефектную поверхность, получим из экспериментальных графиков.

Для моделирования трехмерной поверхности используем топограмму ее неровностей. По приведенным в научных публикациях [4] топограммам реальных рабочих поверхностей довольно сложно получить их математическое описание, так как информация приведена в графическом виде. Статистических зависимостей в аналитическом виде в рассмотренных публикациях не приводится. Для решения этой задачи в данной работе используем следующий подход.

Топограмма моделируемой поверхности должна учитывать статистические характеристики этой поверхности, описывающие ее профили в различных направлениях. Как правило, это два ортогональных направления в криволинейных координатах, определяемых номинальной поверхностью. Будем считать, что эти профили представляют собой реализации случайных процессов, не зависящих друг от друга в том, что касается их вероятностных характеристик. Далее, для моделирования нужной нам топограммы используем понятия «двумерной пространственной частоты», широко применяемое в физической оптике и основанной на нем характеристики - функции двумерной спектральной плотности мощности случайного процесса. Взаимная



- 1 - номинальная поверхность;
- 2 - модель реальной поверхности

Рис. 1 - Связь между разными представлениями рельефа поверхности



статистическая независимость двух одномерных случайных процессов позволяет нам представить эту функцию в виде произведения двух функций одномерной спектральной плотности:

$$f(\omega_1, \omega_2) = f_1(\omega_1) f_2(\omega_2), \quad (4)$$

где ω_1, ω_2 , - пространственные частоты вдоль профилей, совпадающих с координатными линиями криволинейного базиса, соответственно, $l = R\varphi$ и χ (поперек номинальной поверхности – это осевое сечение).

Отсюда, с помощью преобразования Фурье функции, являющейся квадратным корнем функции (4), получим отсчет высоты микрорельефа в любой нужной точке с координатами l и χ . Замкнутость профилей вдоль направляющих линий номинальной поверхности ведет к дискретности спектра частот ω_1 . Эти частоты должны удовлетворять условию $\omega_1 = N/R$, где N - количество волн (отклонений от круглости), приходящееся на оборот поверхности. При этом функция двумерной спектральной плотности получается дискретной вдоль оси частот ω_1 и непрерывной вдоль оси частот ω_2 . На графике она представляет собой набор плоских фигур, параллельных друг другу и оси ω_2 , и перпендикулярных оси ω_1 . Форма этих фигур такова, что функция $f(\omega_1, \omega_2)$ является для них огибающей.

Примем, что R не зависит от χ , а R равно его среднему интегральному значению по χ . Таким образом, формула для расчета топограммы моделируемой поверхности имеет вид:

$$h(\varphi, \chi) = C \sum_{N=1}^{+\infty} \int_{\omega_2=\omega_{2\min}}^{+\infty} g(N, \omega_2) \sqrt{f_1(N) \cdot f_2(\omega_2)} \times \cos[N\varphi - \eta_1(N) + \omega_2 \chi - \eta_2(\omega_2)] d\omega_2. \quad (5)$$

где $\eta_1(N), \eta_2(\omega_2)$ - функции, каждая из которых имеет значение случайной величины с равномерным законом распределения в интервале от 0 до 2π рад. Это значение фиксировано при заданном значении аргумента. При этом выполняется условие (например, для $\eta_1(N)$):

$$\eta_1(A) = \eta_1(B), \text{ если } A=B; \quad \eta_1(A) \neq \mu_1(B), \text{ если } A \neq B, \quad (6)$$

где A и B - отвлеченные числа.

Минимальная частота $\omega_{2\min}$ выбирается по возможности близкой к нулю, чтобы моделировать поверхность, не замкнутую в направлении χ . Функция $g(N, \omega_2)$ имеет следующие значения:

- 0, если $N=0$ и $\omega_2=0$;
- 1/2, если $N=0$ и $\omega_2 \neq 0$, или $N \neq 0$ и $\omega_2=0$;
- 1, если $N \neq 0$ и $\omega_2 \neq 0$.

Нормирующий множитель C определим из уравнения:

$$\sqrt{2} \bar{h} = C \sqrt{\sum_{N \in D} \int_{\omega_2 \in E} f_1(N) f_2(\omega_2) d\omega_2}, \quad (7)$$



где D - множество гармоник, соответствующее полосе пропускания частотного фильтра при снятии круглограммы; E - интервал, равный всему диапазону частот ω_2 модельной поверхности.

Описанная математическая модель использована для расчета характеристик алгоритмической составляющей погрешности метода.

Литература

1. Белопухов, В. Н. Лабораторный макет лазерного кругломера [Текст] / В. Н. Белопухов, М. Ю. Грачев, М. В. Лесников, О. А. Заякин, Ю. О. Понявин // ПИТ-2012: сб. науч. тр. - Самара: Изд. СНЦ РАН, 2012. - С. 10 - 13.
2. Топорец, А. С. Оптика шероховатой поверхности [Текст] / А. С. Топорец. - Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1988. - 191 с.
3. Беннет, Дж. М. Шероховатость поверхности и рассеяние [Текст] / Дж. М. Беннет, М. Маттсон. - Вашингтон: Оптическое общество Америки, 1993. - 119 с.
4. Дунин-Барковский, И. В. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности [Текст] / И. В. Дунин-Барковский, А. Н. Карташова. - М.: Машиностроение, 1978. - 232 с.

И.Д. Зиновьев

ОБНАРУЖЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ В РАБОТЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

(Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королева (национальный исследовательский университет))

Данная работа посвящена проблеме обработки данных мониторинга компьютерной системы, анализа этих данных. Показаны различия между контролем качества серийной продукции и компьютерной системы, предложены пути решения этих проблем.

Цель: сокращение числа контролируемых параметров компьютерной системы и анализ агрегированных показателей

В сфере бизнес решений очень часто создаются большие кластеры из вычислительных машин, выполняющих одинаковые или специфичные для каждой машины функции.

Выход из строя одной из машин может привести к потере производительности или, в случае уникальности узла, вообще к отключению системы. Простой таких систем обходится очень дорого, а в некоторых случаях (например, банки и платежные системы) и вовсе не допустим. Для предотвращения наступления таких ситуаций необходимо вести наблюдение за системой. Для этой цели существуют системы мониторинга.