

# ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Д.В. Корбан

Перспективным видом первичных преобразователей, применяемых в волоконно-оптических информационно-измерительных системах (ВОИС) являются бинарные волоконно-оптические датчики (БВОД). Одним из принципов обработки сигналов в сложных системах является мультиплексирование каналов передачи, при этом одним из эффективных способов кодирования данных является использование в БВОД растровых элементов.

На рис. 1 в упрощенном виде показан вариант конструкции бинарного датчика, основными компонентами которого являются соосно расположенные многомодовые оптические волокна 1 и 2, между которыми находится растр 3.

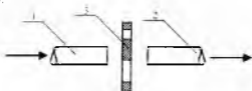


Рис. 1. Бинарный датчик с растровым элементом

Передача оптической мощности из оптического волокна 1 в оптическое волокно 2 определяется структурой растра 3 и теоретически может меняться от нуля до максимального уровня мощности на выходе оптического волокна. Коэффициент пропускания датчика  $k$  определяется площадью, перекрываемой непрозрачным штрихом.

Для построения математической модели коэффициента пропускания датчика примем следующие ограничения:

1. Световой поток, выходящий из оптического волокна 1, ограничен телесным углом  $2\theta$ , соответствующим числовой апертуре волокна.

2. Числовые апертуры волокон согласованы и весь световой поток, попадающий на торец оптического волокна 2, не выходит в оболочку волокна.

3. В плоскости торца оптического волокна 2 световая энергия распределена равномерно по площади круга радиусом

$$a_1 = a + \Delta Z \operatorname{tg} \theta$$

где  $\Delta Z$  - расстояние между оптическими волокнами;  $a$  - ширина зрачка;  $\theta$  - угол

4. Разъюстировка оптических волокон 1 и 2 может выражаться только в боковом смещении  $x$ .

5. Растр размещен на достаточно близком расстоянии от торцов оптических волокон.

Рассмотрим первый частный случай, когда площадь оптического потока 1 соизмерима с размером элемента растра 2 (рис.2).

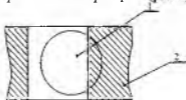


Рис. 2. Площадь оптического потока соизмерима с размерами элементов датчика

В случае полного согласования осей волокон оптическая мощность на торце оптического волокна 2 (рис.1) определяется величиной зазора  $\Delta Z$ , числовой апертурой  $NA$  и оптической мощностью на торце оптического волокна 1:

$$P = P_1 \frac{a^2}{[a + \Delta Z (NA)]^2} \quad (1)$$

При перекрытии непрозрачным штрихом растра оптического потока на расстоянии  $x$  от края оптического волокна 2, часть сердцевины не будет воспринимать излучение. Площадь этой части равна [1]

$$S = a^2 \arccos\left(\frac{a-x}{a}\right) - (a-x)\sqrt{a^2 - (a-x)^2} \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) можно определить коэффициент передачи оптической мощности

$$k(x) = \frac{\pi a^2 + (a-x)\sqrt{a^2 - (a-x)^2} - a^2 \arccos\left(\frac{a-x}{a}\right)}{\pi [a + \Delta Z (NA)]^2} \quad (3)$$

Второй частный случай заключается в использовании растра с мелким, по сравнению с площадью светового потока, шагом (рис. 3).

Если элементы растра настолько малы, что становятся соизмеримы с длиной волны излучения  $\lambda$ , нельзя не учитывать явление дифракции. В этом случае потоки, прошедшие через разные отверстия, интерферируют, создавая сложную картину распределения мощности излучения. Приводимые ниже

рассуждения справедливы для распределения мощности излучения на торце приемного оптического волокна, которое находится на расстоянии более, чем  $30...40 \lambda$  от раstra.



Рис. 3. Растр с мелким шагом

Распределение от одного зрачка (прозрачного элемента) раstra определяется по формуле:

$$P = P_0 \frac{\sin\left(\pi \frac{\gamma a}{\lambda}\right)}{\pi \frac{\gamma a}{\lambda}} = P_0 \operatorname{sinc}\left(\frac{\gamma a}{\lambda}\right), \quad (4)$$

где  $P_0$  - нормированная величина оптической мощности;  $a$  - ширина отверстия;  $\gamma$  - угол, отсчитываемый от нормали к плоскости решетки, проходящий через середину отверстия.

В случае нескольких зрачков, результирующее распределение определяется как композиция распределений от отдельных зрачков раstra:

$$P = \sum_{i=1}^N P_i. \quad (5)$$

Точка означает комплексную величину и, следовательно, сложение производится с учетом не только амплитудных, но и фазовых соотношений отдельных распределений.

В работе [3] получено аналитическое выражение для раstra с периодической структурой. Распределение мощности определяется по формуле

$$P = P_0 \frac{\sin^2 \pi \frac{a \sin \gamma}{\lambda}}{\pi^2 \frac{a^2 \sin^2 \gamma}{\lambda}} \prod \frac{\sin N \pi \frac{(a+b) \sin \gamma}{\lambda}}{\sin^2 \pi \frac{(a+b) \sin \gamma}{\lambda}} \quad (6)$$

где  $a$  - ширина зрачка;  $b$  - ширина непрозрачного штриха;  $N$  - количество зрачков раstra.

В результате на выходе раstra получается сложная интерференционная картина, приводящая к нарушению модового состава излучения. Модовое распределение на торце оптических волокон описывается двумерной функцией  $f(x,y)$ , существующей в пределах площади излучающей поверхности.

Коэффициент передачи в этом случае определяется по формуле

$$k(x) = \frac{\sum_{x_1=0}^x \int_{x_2=0}^{x_1} f(x) dx}{\int_0^D f(x) dx}, \quad (7)$$

где  $x$  — координаты границ элементов раstra;  $D$  — диаметр излучающей поверхности.

Из рис. 3 и формулы (7) следует, что точность воспроизведения  $k$  зависит от отношения диаметра излучающей поверхности  $D$  к ширине элемента раstra  $d = x_{j+2} - x_j$ . Назовем это отношение параметром раstra  $\omega$ .

Чем выше значение  $\omega$ , тем потенциально точнее можно задать  $k$ . Для этого нужно либо увеличить диаметр  $D$ , либо уменьшить ширину элемента раstra.

Величина  $D$  ограничена сверху увеличивающимися потерями распространения оптической энергии. С другой стороны,  $d$  необходимо ограничить снизу величиной  $30 \dots 40 \lambda$ , чтобы избежать дифракционных явлений. Следовательно, существует некоторое оптимальное, с точки зрения точности воспроизведения  $k$ , значение параметра  $\omega$ . Зависимость погрешности коэффициента передачи  $\varepsilon_0(k)$  от параметра раstra  $\omega$  было получено при равномерном модовом распределении излучения. Для различных значений светосилы  $k_0$  (рис. 4).

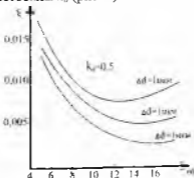


Рис. 4 Зависимость погрешности коэффициента передачи от параметра раstra

Полученные данные позволяют сделать вывод, что наибольшая погрешность  $\varepsilon_d$  получается для значения светосилы  $k_0 = 0,5$ , т.е. в случае одинаковых величин прозрачных и непрозрачных элементов раstra. С ростом параметра раstra  $\omega$  разница между  $\varepsilon_d$ , полученными при различных значениях  $k_0$  уменьшается, а при любых значениях  $k_0$  с ростом  $\omega$  значение погрешности  $\varepsilon_d$  уменьшается. Эти данные используются разработчиками волоконно-оптических ИИС для оценки погрешностей результатов измерений.

#### Список использованных источников

1. Леонович Г.И. Оптоэлектронные цифровые датчики перемещений для жестких условий эксплуатации// Самара: ИПО СГАУ, 1998. – 264 с.
2. Голубятников И.В., Зеленский В.А., Шатерников В.Е. Системы мониторинга сложных объектов. М.:Машиностроение, 2009. – 172 с.
3. Зеленский В.А., Шатерников В.Е. Бинарный волоконно-оптический датчик перемещений с кодовым выходом для систем автоматического контроля Контроль, диагностика. – 2009, № 7. – С.15 -17.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ С ПОМОЩЬЮ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Д.В. Корбан

Современные информационно-измерительные системы (ИИС) входят в состав сложных технических объектов. Поэтому при разработке ИИС сложных технических объектов необходимо учитывать такие свойства последних, как открытость (связь объекта с внешней средой), стохастичность (случайность происходящих процессов), цикличность (повторяемость операций, показаний датчиков), асинхронность (отсутствие привязки к конкретным временным моментам срабатывания датчиков) и параллельность (одновременное выполнение нескольких независимых или слабозависимых технологических процессов). Применение классических ИИС, учитывающих данную специфику объекта, чревато большими затратами материальных и временных ресурсов, а также серьезными рисками невыполнения технического задания. Во многих случаях представляется перспективным использование волоконно-оптических информационно-измерительных систем (ВОИИС), в которых организован множественный доступ к каналу передачи измерительной информации с применением интеллектуальной обработки полученных данных [2].

При исследовании поведения сложных систем возникают объективные трудности с построением аналитических математических моделей [3, 4]. Решение задачи анализа подобных систем возможно только