

[6] Картужанский А.Л., Кудряшова Л.К., Резников В.А. // Журн. научн. и прикл. фотогр. и кинематогр. 1988. Т. 33. № 3. С. 206.

Поступило в Редакцию  
26 июня 1989 г.  
В окончательной редак-  
ции 27 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2

26 января 1990 г.

06.3; 07

© 1990

### О ПРИМЕНЕНИИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКАХ

О.И. Котлов, А.В. Медведев, В.М. Николаев,  
В.Ю. Петрунькин

Большинство известных на сегодняшний день волоконно-оптических датчиков (ВОД), основанных на фазовой, поляризационной, амплитудной модуляции света [1], являются „интегральными“ датчиками. В них физическая величина определяется как результат воздействия на чувствительный волоконный элемент по всей его длине измеряемого физического поля. Поэтому измеренные величины являются в действительности усредненными, интегральными. Локализация измерений в пространстве для получения двух- или трехмерной картины распределения физического параметра наталкивается на проблему миниатюризации чувствительного элемента и большого числа измерений. В данной работе экспериментально показано, что поставленную задачу измерения физического поля (температуры, давления, магнитного, электрического, акустического и др) можно эффективно решить, применяя в волоконных датчиковых устройствах принципы томографии [2].

Аналогично известным методом оптической томографии при прохождении луча света по волоконному световоду, расположенному в измеряемом физическом поле, осуществляется интегральное преобразование, которое в случае прямолинейной „траектории“ волокна является преобразованием Радона. Конкретно будем рассматривать поле температур  $T(x, y, z)$ , измеряемое с помощью одномодового волоконного интерферометра Фабри-Перо (рис. 1). Информация об измеряемой величине содержится в изменении фазы световой волны:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0 = \beta\alpha \int_0^L [T_1(z) - T_0] dz,$$

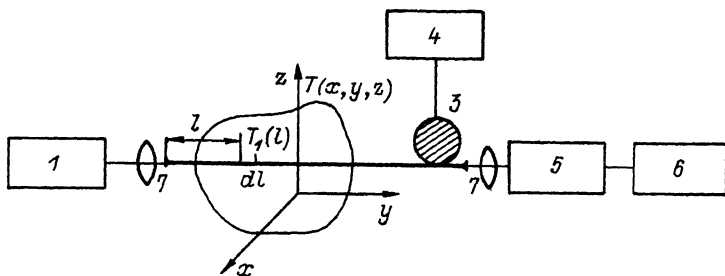


Рис. 1. Структурная схема экспериментальной установки: 1 - *He-Ne* лазер ( $\lambda=0.63$  мкм), 2 - волоконный интерферометр Фабри-Перо, 3 - фазовый модулятор, 4 - генератор НЧ, 5 - фотоприемник, 6 - цифровое электронное счетное устройство, 7 - микрообъектив.

где  $\beta$  - постоянная распространения,  $\alpha$  - коэффициент теплового линейного расширения волокна (для простоты считаем, что изменение фазы определяется геометрической длиной световода),  $L$  - длина волоконного интерферометра,  $T_0$  - средняя температура за пределами измеряемого поля;  $T_l(z)$  - температура элемента волокна длиной  $dl$  на расстоянии  $l$  от начала интерферометра.

Величину  $\Delta\varphi$  измеряли цифровым электронным устройством при дополнительной гармонической модуляции фазы света с помощью пьезокерамического модулятора. Выбирали отсчет  $\varphi_0=0$  („обнуляли“ счетчик) при расположении интерферометра за пределами измеряемого поля температур. Конкретное измеренное значение  $\Delta\varphi$  соответствовало некоторому определенному положению прямого участка волоконного интерферометра в фиксированном координатном пространстве  $XYZ$ . Нетрудно видеть, что это значение  $\Delta\varphi$  представляет собой в томографическом методе величину луч-суммы [2]. Передвигая интерферометр (сохраняя прямолинейность волокна в измеряемом объеме) параллельно одной из осей декартовой системы координат, например параллельно  $OY$ , получим совокупность луч-сумм, характеризующих соответствующую интегральную проекцию, в нашем примере  $X$ -проекцию. По достаточному количеству таких проекций под разными углами исследуемое поле  $T(x, y, z)$  можно реконструировать, используя известные томографические методы (обратное преобразование Радона и т. п.) [3].

Объектом измерений служило температурное поле, создаваемое микропаяльником. Было измерено распределение температуры в плоскости на высоте  $\sim 1.5$  см над осью симметрии конструкции нагревателя (рис. 2). Ось симметрии была параллельна оси  $OY$ . Представленное изображение  $T(x, y)$  получено двухкурсным

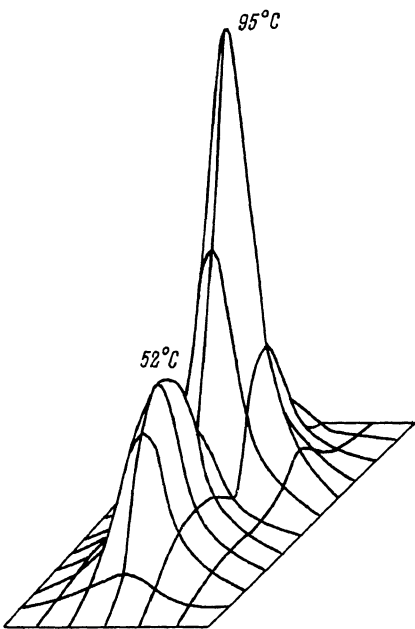


Рис. 2. Восстановленное поле температур нагревателя. Шаг сетки 1 см.

способом в предположении  $T(x, y) = f_1(x) \cdot f_2(y)$ . Выделяются три области: малый максимум соответствует тонкому жалу паяльника ( $\phi 2$  мм), большой максимум – участку открытого нагревательного элемента, минимум – керамическому „перешейку“ головки паяльника. Для количественной оценки  $\Delta T$  использовали калибровку датчика в однородном поле температур.

Использование томографических методов в волоконно-оптических датчиках позволяет расширить их измерительные возможности. С другой стороны, применение ВОД в томографии,

на наш взгляд, вносит ряд существенных особенностей по сравнению с известными оптическими схемами.

1) Расширяется круг измеряемых физических величин на счет применения световодов с разными покрытиями и материалами сердцевины и оболочки.

2) Становится возможным применение в схемах „траекторий“ волокна отличных от прямых с точно контролируемой геометрией (круг, эллипс, спираль и т. д.).

3) Отсутствуют недостатки „открытых“ оптических схем, связанные с дифракцией и рефракцией луча.

Кроме того, поскольку ВОД измеряют проекции векторных величин на ось световода (например, в случае магнитного поля) представляется вполне реальным измерение и реконструкция векторных полей.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] G i a l l o r e n z i T.G., В u s a r o J.A., D a n d r i d g e A. // IEEE Trans. Microwave Th. Technology. 1982. V. MTT-30. P. 472-511.
- [2] Л е в и н Г.Г., В и ш н я к о в Г.Н. Оптическая томография. М.: Сов. радио, 1989. 224 с.

[3] Х е р м е н Г. Восстановление изображений по проекциям.  
Основы реконструктивной томографии. М.: Мир, 1983. 350 с.

Ленинградский политехнический  
институт им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию  
6 декабря 1989 г.