

# ПРИБОРЫ



2/2014

# А.В. Дмитриев, А.И. Юрин, М.И. Красивская

## ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК ВИБРОУСКОРЕНИЙ

### Аннотация

Рассмотрены принципы построения датчиков виброускорений на основе волоконно-оптических преобразователей перемещений с внешней модуляцией. Разработан макет волоконно-оптического акселерометра, и проведены его испытания по разработанной методике.

**Ключевые слова:** волоконно-оптический датчик, измерение виброускорений, световод.

Задача разработки надежных датчиков виброускорений, способных работать в широком диапазоне температур и при воздействии сильных электромагнитных полей, постоянно находится в поле зрения специалистов по виброметрии. Одним из путей решения данной задачи является построение акселерометров на основе бесконтактных волоконно-оптических преобразователей перемещений (ВОПП) с внешней модуляцией [1]. Основными структурными элементами таких преобразователей являются: источник излучения, передающий волоконно-оптический канал (ВОК), приемный ВОК и фотоприемное устройство [2].

Принцип действия ВОПП основан на модуляции интенсивности светового потока при его распространении в пространстве между торцами передающего (T) и приемного (R) ВОК. Различают два типа таких преобразователей: ВОПП рефлектометрического типа (рис. 1а) и ВОПП прямого типа (рис. 1б). В первом случае торцы приемного и передающего волоконно-оптических каналов расположены по одну сторону от объекта измерения и в качестве информативного параметра регистрируется интенсивность отраженного от поверхности объекта излучения. Во втором случае поток излучения передается непосредственно от передающего ВОК к приемному

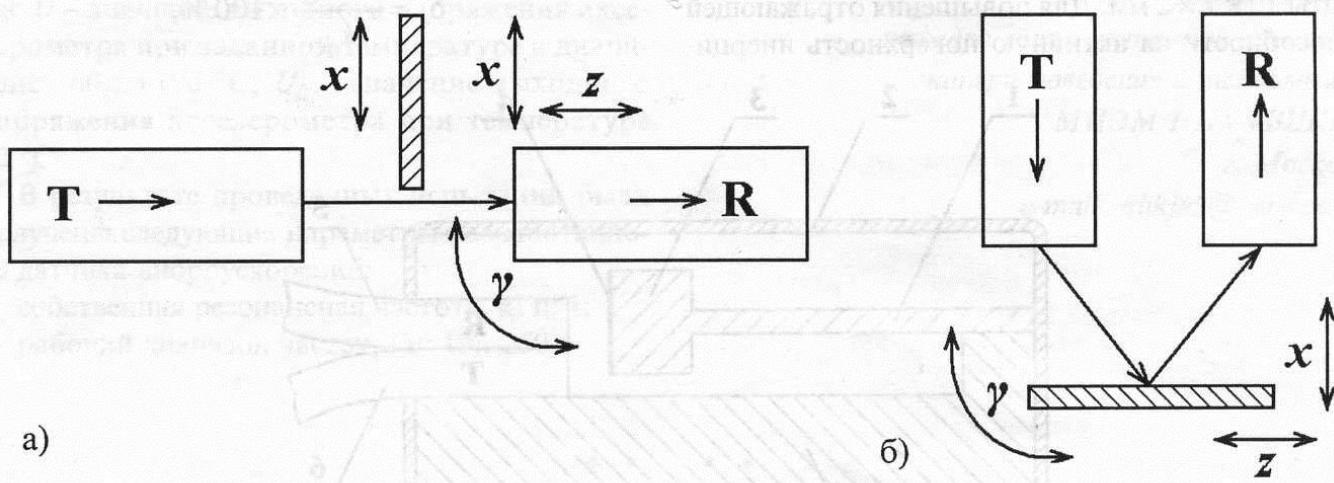


Рис. 1. Схемы построения ВОК рефлектометрического (а) и прямого (б) типов

каналу. При этом модуляция интенсивности излучения осуществляется за счет перемещения объекта измерения между торцами ВОК либо за счет изменения взаимного расположения торцов приемного и передающего ВОК.

Если в качестве объекта измерения использовать инерционную массу, то возможно реализовать простой волоконно-оптический акселерометр. Такие акселерометры могут быть использованы для измерения виброускорений в широком диапазоне частот при сложных условиях окружающей среды. При разработке подобных датчиков виброускорений возможно использовать ВОПП как рефлектометрического, так и прямого типов. Нами были изготовлены и проведены испытания макета акселерометра, использующего преобразователь рефлектометрического типа.

Исследования показали [3], что из всего многообразия схем построения ВОПП для разработки акселерометров одним из перспективных является преобразователь рефлектометрического типа с экранированием светового потока (рис. 2). В этом случае регистрируется перемещение границы инерционной массы, движущейся параллельно приемо-передающему торцу ВОК.

Разработанный датчик виброускорений конструктивно выполнен в прямоугольном корпусе 2. К основанию корпуса 7 прикрепляется упругий элемент 1, представляющий собой плоскую пружину толщиной 0,2 мм. На конце пружины находится инерционная масса 3, имеющая габариты  $10 \times 2 \times 2$  мм. Для повышения отражающей способности на активную поверхность инерци-

онной массы нанесена алюминиевая пленка 4 толщиной 0,05 мм.

Напротив активной поверхности инерционной массы закреплен общий приемо-передающий торец ВОК. В качестве ВОК в датчике применен разветвленный волоконно-оптический жгут длиной 500 мм с прямоугольным торцом, состоящим из передающего 6 и приемного 5 ВОК. Жгут сформирован из кварцевых волокон диаметром 25 мкм. Для настройки преобразователя в стеклах корпуса сделаны прорези, что позволяет производить перемещение торца жгута относительно инерционного элемента в пределах  $\pm 5$  мм. Определение начального положения торца ВОК относительно отражающей поверхности проведено на основании методики, описанной в [3]. Датчик предназначен для измерения параметров низкочастотной вибрации в диапазоне 5...500 м/с<sup>2</sup> и полосе частот 10...250 Гц.

Для экспериментального исследования разработанного датчика виброускорений были разработаны программа и методика испытаний. Основные параметры определялись по следующим формулам:

- коэффициент преобразования

$$k = U_{\text{вых}} / H,$$

где  $U_{\text{вых}}$  – амплитуда выходного напряжения, мВ;  $H$  – амплитуда виброускорения, м/с<sup>2</sup>;

- нелинейность амплитудной характеристики (AX)

$$\delta_a = \frac{k - k_{cp}}{k_{cp}} \times 100 \%,$$

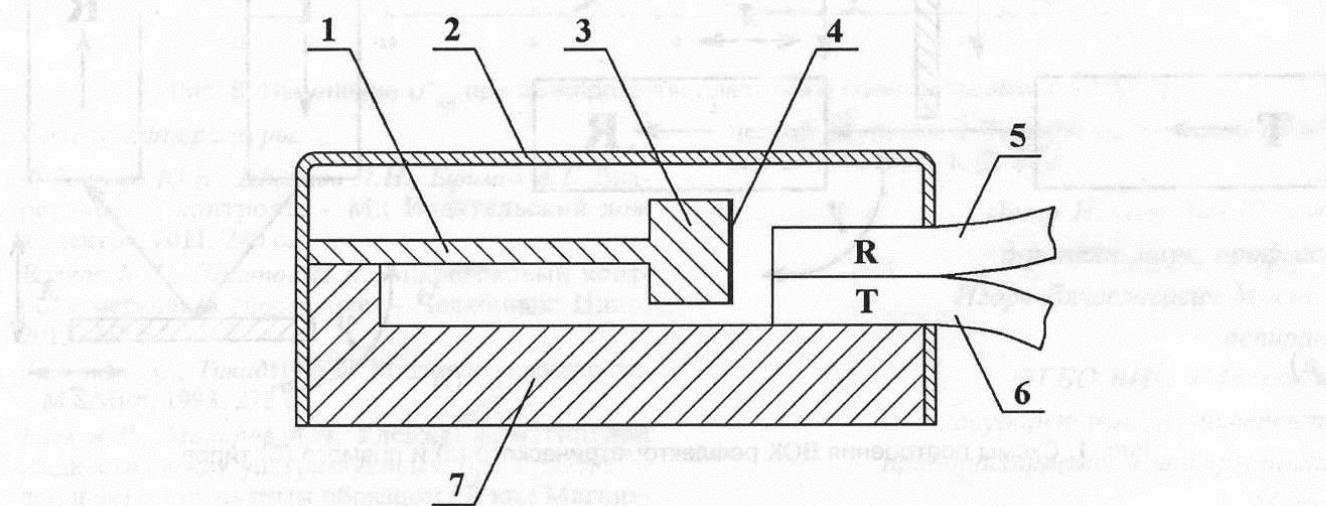


Рис. 2. Схема волоконно-оптического акселерометра

где  $k$  – значение коэффициента преобразования при заданном ускорении;  $k_{cp}$  – среднее значение коэффициента преобразования при заданном ускорении;

- неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ)

$$\delta_r = \frac{(U - U_0)_{\max}}{U_0} \times 100 \%,$$

где  $U$  – значение выходного напряжения акселерометра при заданной частоте;  $U_0$  – значение выходного напряжения акселерометра при частоте 100 Гц;

- динамический диапазон

$$D = 20 \lg \frac{U_B}{U_H},$$

где  $U_B$  – значение выходного напряжения акселерометра при верхнем пределе ускорения рабочего диапазона;  $U_H$  – значение выходного напряжения акселерометра при нижнем пределе ускорения рабочего диапазона;

- основная относительная погрешность

$$\delta = \sqrt{\delta_k^2 + \delta_a^2},$$

где  $\delta_k$  – погрешность определения коэффициента преобразования;

- дополнительная температурная погрешность

$$\delta_t = \frac{(U_t - U_0)_{\max}}{U_0} 100 \%,$$

где  $U_t$  – значение выходного напряжения акселерометра при заданной температуре в диапазоне  $-60 \dots +100$  °C;  $U_0$  – значение выходного напряжения акселерометра при температуре 20 °C.

В результате проведенных испытаний были получены следующие параметры разработанного датчика виброускорений:

- собственная резонансная частота, кГц: 1;
- рабочий диапазон частот, Гц: 10...250;

- основная относительная погрешность, %, не более: 4;
- неравномерность АЧХ, %, не более: 5;
- нелинейность АХ, %, не более: 4;
- коэффициент преобразования, мВ·с<sup>2</sup>/м: 1,5;
- динамический диапазон, дБ: 40;
- диапазон рабочих температур, °C:  $-60 \dots +100$ ;
- дополнительная температурная погрешность, %/°C: 0,15.

Анализ полученных результатов показывает, что разработанная конструкция обладает высокой надежностью, конкурентоспособна и обеспечивает достаточно высокие метрологические характеристики, однако требует усовершенствования для уменьшения коэффициента поперечного преобразования и температурной погрешности.

#### Список литературы:

1. Окоси Т. и др. Волоконно-оптические датчики. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.
2. Волоконно-оптические датчики / Под ред. Э. Удда. – М.: Техносфера, 2008. 520 с.
3. Дмитриев А.В., Красивская М.И., Юрин А.И. Исследование волоконно-оптических датчиков с внешней модуляцией // Датчики и системы. 2013. № 5. С. 34-37.

Алексей Викторович Дмитриев,

канд. техн. наук, доцент,

Александр Игоревич Юрин,

канд. техн. наук, доцент,

Мария Игоревна Красивская,

ст. преподаватель,

кафедра микросистемной техники,

материаловедения и технологий,

МИЭМ НИУ «ВШЭ»,

г. Москва,

e-mail: alikjan@yandex.ru

## УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

Союз общественных объединений  
«Международное научно-техническое  
общество приборостроителей и метрологов»

## ПРИ ПОДДЕРЖКЕ

Министерства промышленности  
и торговли РФ,

Федерального агентства по техническому  
регулированию и метрологии,  
Московского государственного  
университета приборостроения  
и информатики

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Кавалеров Г.И., д.т.н., проф.

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Алексеев В.В., д.т.н., проф.;  
Богомолов Ю.А., к.т.н. (зам. гл. редактора);  
Кондратенко В.С., д.т.н., проф. (зам. гл.  
редактора);  
Софьев А.Э., д.т.н., проф.;  
Еремин Е.В., к.т.н.; Ивченко В.Д., д.т.н., проф.;  
Клюев В.В., академик РАН; Конюхов С.А., д.т.н.;  
Кривов А.С., д.т.н., проф.; Лахов В.М., к.ф.-м.н.;  
Масановец В.В., д.т.н., проф.;  
Назаров В.Н., к.т.н.;  
Прохоров Н.Л., д.т.н., проф.;  
Сенянский М.В.; к.т.н.;  
Слепцов В.В., д.т.н., проф.;  
Соколов В.В., д.ф.-м.н., проф.;  
Суминов В.М., д.т.н., проф.;  
Черкасова А.Г.;  
Шатерников В.Е., д.т.н., проф.;  
Шкабардия М.С., д.т.н., проф.;  
Яшин Я.И., д.хим.н., проф.

## РЕДАКЦИЯ

Кавалерова Г.А. (зам. гл. редактора)  
Воронкова А.С. (отв. секретарь)  
Никулин А.А. (выпускающий редактор)

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ  
по делам печати, телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-1459

Журнал «Приборы» зарегистрирован  
в ВАК РФ как научное издание

Сдано в набор 20.01.2014. Подписано в печать 20.02.2014.  
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 7. Зак. 57

Цена журнала – договорная

Подписной индекс  
в каталоге Агентства «Роспечать» – 79727

Адрес редакции:  
119034, г. Москва, Остоженка ул., д. 1/9, оф. 12  
Телефон: (495) 695-10-70, 695-10-71 (факс)  
E-mail: kavalerov@mail.ru <http://www.pribory-smi.ru>

Отпечатано в ООО «Подольская Периодика»  
142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПРИБОРЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Шкатов П.Н., Мостяев И.В. Вихревая дефектоскопия немагнитных электропроводящих объектов сложной формы с применением магнитной жидкости .....	1
Дмитриев А.В., Юрин А.И., Красивская М.И. Волоконно- оптический датчик виброускорений .....	7
Майоров Е.Е., Прокопенко В.Т., Ушверидзе Л.А. Исследование ультрафиолетового спектрофотометра ( $\lambda = 200\ldots400$ нм) и его компонентов .....	10
Даев Ж.А. Применение осекольцевого диффузора с обтекателем в качестве преобразователя расхода газа .....	16
Алексеев С.П., Даньшин А.Г., Реук В.Г. Указатели положения .....	20
Киселев М.И., Пронякин В.И. Перспективы электроэнергетики России .....	25
Мулёв Ю.В., Мулёв М.Ю., Михайлин С.Г., Епихина Г.Е. Электроконтактные (сигнализирующие) манометрические приборы взрывозащищенного исполнения. Искробезопасная электрическая цепь .....	31

### СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

Подвигалкин В.Я. Моделирование nanostructured сред толстых пленок пассивных элементов микросборок .....	35
Иванников Д.А. Комплексы радиоконтроля для систем обеспечения безопасности информационных каналов и экологического мониторинга .....	43

### ТЕХНОЛОГИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ И НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Мордасов Д.М., Мордасов М.М. Пневмометрический контроль удельного объема твердой фазы гетерогенных материалов .....	48
Кондратьев Е.М. Электростатическое закрепление при разделении полупроводниковых пластин на кристаллы .....	52

© Предупреждаем о правовой защите наименования, товарного знака и авторских  
прав на публикуемые материалы.

За достоверность сведений в рекламных материалах ответственность несут  
рекламодатели.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

Перепечатка материалов допускается только с разрешения редакции и с  
обязательной ссылкой на журнал «ПРИБОРЫ».