

УДК 681.586  
ББК В 397  
Я 66

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Южного федерального университета*

**Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор *Папко А. А.*;  
доктор технических наук, профессор *Богущ М. В.*;  
кандидат технических наук, доцент *Цыбрий И. К.*;  
кандидат технических наук, доцент *Земляков В. Л.*

**Ответственный редактор:**

доктор технических наук, профессор *Панич А. Е.*

*Монография подготовлена и издана в рамках национального проекта  
«Образование» по «Программе развития федерального государственного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
“Южный федеральный университет” на 2007–2010 гг.»*

**Яннич В. В.**

Я 66      Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры): монография / В. В. Яннич. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010. – 304 с. – (Пьезоэлектрическое приборостроение. Т. 7).

ISBN 978-5-9275-0728-3

Монография посвящена вопросам проектирования пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователей (акселерометров), широко используемых для измерения параметров вибрационных и ударных ускорений в различных областях техники. Приведены сведения о пьезоэлектрических материалах и пьезоэлементах, физико-технических основах работы акселерометров, их конструктивных схемах и технических характеристиках. Рассмотрены механизмы влияния внешних факторов, воздействующих на акселерометры в реальных условиях эксплуатации. Описаны методики измерения основных характеристик акселерометров и сравнительной оценки их технического уровня.

Предназначена для инженеров, магистров, аспирантов и специалистов, работающих по созданию и эксплуатации датчиков-преобразующей аппаратуры для виброметрии, а также в области пьезоэлектрического приборостроения. Может быть использована в качестве учебного пособия для студентов старших курсов технических специальностей, обучающихся по направлениям «Пьезоэлектрическое приборостроение» и «Информационно-измерительная техника и технологии».

ISBN 978-5-9275-0728-3

**УДК 681.586  
ББК В 397**

© Яннич В. В., 2010  
© Южный федеральный университет, 2010  
© Оформление. Макет. Издательство  
Южного федерального университета, 2010

## ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора .....	10
Введение .....	12

### **ГЛАВА 1. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

<b>И ЭЛЕМЕНТЫ .....</b>	<b>15</b>
1.1. Краткие сведения о пьезоэлектрических материалах .....	15
1.2. Устройство и работа пьезоэлементов .....	24
1.3. Конструкции и способы изготовления многослойных пьезоэлементов .....	35

### **ГЛАВА 2. ПРИНЦИП РАБОТЫ**

<b>ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА .....</b>	<b>42</b>
2.1. Основные измеряемые параметры виброколебаний .....	42
2.2. Физические основы работы пьезоэлектрических акселерометров .....	44

### **ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

<b>ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ .....</b>	<b>55</b>
3.1. Коэффициенты преобразования .....	56
3.2. Относительный коэффициент поперечного преобразования .....	57
3.3. Рабочий диапазон ускорений .....	65
3.4. Рабочий диапазон частот .....	68
3.5. Рабочий диапазон температур .....	75

### **ГЛАВА 4. ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ**

<b>ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА .....</b>	<b>81</b>
4.1. Классификация внешних влияющих факторов .....	81
4.2. Влияние механических факторов .....	84
4.2.1. Влияние деформаций контролируемого объекта .....	84
4.2.2. Влияние давления и акустического поля .....	89
4.2.3. Влияние неизмеряемых вибраций .....	91
4.2.4. Влияние интенсивных вибраций и ударов .....	93
4.3. Влияние электрических и магнитных полей .....	97
4.3.1. Влияние переменного магнитного поля .....	97
4.3.2. Влияние токов в контурах заземления .....	101

4.4.	Влияние температуры .....	105
4.4.1.	Влияние постоянной температуры .....	105
4.4.2.	Влияние температурных колебаний .....	110
4.5.	Влияние гидрохимических свойств окружающей среды ..	113
4.6.	Влияние проникающей радиации .....	114

## **ГЛАВА 5. КОНСТРУКТИВНЫЕ СХЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ**

<b>ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ .....</b>	<b>117</b>
5.1. Классификация пьезоэлектрических акселерометров ...	117
5.2. Конструктивные схемы электромеханических преобразователей пьезоэлектрических акселерометров ...	127
5.3. Конструктивные и эксплуатационные особенности трехкомпонентных пьезоэлектрических акселерометров .	139

## **ГЛАВА 6. СПОСОБЫ КРЕПЛЕНИЯ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ ... 149**

## **ГЛАВА 7. КОНСТРУКЦИИ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ С СОСТАВНЫМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ .....**

7.1. Акселерометры с рабочей деформацией растяжения—сжатия .....	160
7.2. Акселерометры с рабочей деформацией изгиба .....	170
7.3. Акселерометры с рабочей деформацией сдвига .....	179
7.4. Акселерометры со встроенными дополнительными устройствами .....	183

## **ГЛАВА 8. АКСЕЛЕРОМЕТРЫ С МОНОКЕРАМИЧЕСКИМИ И МОНОЛИТНЫМИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ... 191**

8.1. Пьезоэлектрические монокерамические преобразователи .....	191
8.2. Пьезоэлектрические монокерамические преобразователи .....	197
8.2.1. Особенности построения пьезоэлектрических монокерамических преобразователей .....	197
8.2.2. Конструкции монокерамических блоков-преобразователей .....	201
8.2.3. Особенности технологии изготовления монокерамических блоков-преобразователей .....	213

8.3. Акселерометры на основе монолитных и монокерамических блоков-преобразователей .....	219
8.3.1. Конструктивные особенности блочных акселерометров .....	219
8.3.2. Бескорпусные блочные акселерометры .....	220
8.3.3. Полукорпусные блочные акселерометры .....	223
8.3.4. Корпусные акселерометры .....	225

## **ГЛАВА 9. ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК**

<b>АКСЕЛЕРОМЕТРОВ .....</b>	<b>234</b>
9.1. Измерение коэффициента преобразования .....	234
9.1.1. Вибростенды для измерения коэффициента преобразования .....	236
9.1.2. Измерение коэффициента преобразования абсолютным методом с применением лазерного интерферометра .....	241
9.1.3. Измерение коэффициента преобразования методом непосредственного сличения .....	243
9.2. Измерение относительного коэффициента поперечного преобразования .....	246
9.3. Измерение резонансных частот .....	249
9.4. Определение коэффициентов влияния .....	251
9.4.1. Определение коэффициента влияния температуры .....	251
9.4.2. Определение коэффициента влияния деформации основания .....	253
9.4.3. Определение коэффициента влияния магнитного поля .....	255
9.4.4. Определение коэффициента влияния акустического поля.....	255
9.4.5. Определение коэффициента влияния перепада температур .....	256
9.5. Испытания на ударную и вибрационную прочность .....	257

## **ГЛАВА 10. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ИНФОРМАТИВНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ .....**

Заключение .....	278
Литература .....	280