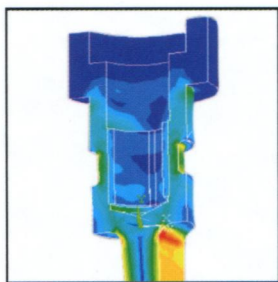


электроники

М.В. Богуш

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ДАТЧИКОВ** на основе
пространственных
электротермоупругих
моделей



ТЕХНОСФЕРА

Рецензенты:

*Кручинский С.Г., д.т.н, профессор ТТИ ЮФУ
Горбатенко Н.И., д.т.н, профессор ЮРГПУ (НПИ).
Земляков В.Л., д.т.н, ЮФУ*

Б74 Богуш М.В. Проектирование пьезоэлектрических датчиков на основе пространственных электротермоупругих моделей.

М.: Техносфера, 2014. – 312 с.+12 с. цв.вкл. ISBN 978-5-94836-371-4

Работа посвящена проектированию пьезоэлектрических датчиков с использованием современных методов математического моделирования. Описаны критерии, алгоритмы и процедуры для рационального и целенаправленного выбора конструкции датчика, материалов и размеров деталей с помощью универсальных относительно геометрии изделия и способов приложения нагрузки численных пространственных электротермоупругих моделей. Это позволяет улучшить технические характеристики пьезоэлектрических датчиков за счет обоснованного выбора компромисса между информативностью и надежностью изделия в предполагаемых условиях эксплуатации.

Эффективность предложенных методов подтверждается разработкой серии пьезоэлектрических датчиков с уникальными свойствами, нашедших широкое применение в вихревых и ультразвуковых расходомерах жидкости, газа и пара для систем промышленной автоматизации.

Предназначена для специалистов, занимающихся проектированием и применением пьезоэлектрических преобразователей и датчиков в измерительных и управляющих системах, а также аспирантов и студентов технических вузов.

M.V. Bogush. Design of piezoelectric sensors based on spatial electrical and thermoelastic models. Technosfera publishing house, 2014, 325 p.: figures.

The book deals with the designing of piezoelectric sensors using modern methods of mathematic modeling. Criteria, algorithms and procedures for rational and efficient selection of the sensors structure, materials and sizes of the parts with the help of numerical spatial electrothermoelastic models that are multipurpose as to the geometry of the sensor and loading modes are described. This provides improving technical characteristics of piezoelectric sensors, due to a well-founded compromise between the information capacity and reliability of the product in the presumptive operation conditions.

The efficiency of the proposed methods is confirmed by the development of a series of piezoelectric sensors having unique properties for vortex and ultrasound flowmeters for fluids, gas and vapor that have been widely applied in the industry.

The book is designed for specialists engaged in design and application of piezoelectric transducers and sensors in measurement and control systems, as well as for students and post-graduate students of technical institutes of higher education.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	9
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ПРОБЛЕМЫ	12
1.1. Пьезоэлектрические материалы для измерительной техники	12
1.2. Пьезоэлектрические датчики давления	16
1.2.1. Унифицированный ряд датчиков быстропеременных давлений	18
1.2.2. Датчики акустических давлений	22
1.2.3. Датчики давления ведущих зарубежных фирм	25
1.3. Методы анализа пьезоэлектрических датчиков	30
1.3.1. Структурный анализ	31
1.3.2. Аналитические методы	38
1.3.3. Численные методы	41
2. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ	45
2.1. Модель неоднородного чувствительного элемента	45
2.2. Распределение механических и электрических полей	56
2.3. Функция преобразования	60
2.4. Прочность при сжатии	63
2.5. Прочность при изменении температуры	68
2.6. Аддитивная погрешность при изменении температуры	70

3. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ	73
3.1. Электроупругие модули	73
3.1.1. Динамический метод измерения электроупругих модулей	73
3.1.2. Квасистатический метод измерения пьезоэлектрических модулей	77
3.1.3. Полный набор электроупругих модулей	84
3.2. Изменение электроупругих модулей от температуры	86
3.3. Изменение пьезоэлектрических модулей от давления	88
3.4. Старение	90
3.5. Временные изменения свойств при внешних воздействиях	92
3.6. Тепловое расширение и пирозэффект	95
3.7. Прочность при сжатии и растяжении	104
4. ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ В РАБОЧИХ УСЛОВИЯХ	111
4.1. Методы оценки механической надежности.....	111
4.2. Оценка механической надежности при действии давления.....	113
4.2. Оценка механической надежности при действии давления и изменении температуры.....	118
4.3. Выбор материалов силовых элементов датчиков.....	127
4.4. Изменение коэффициента преобразования от температуры	130

4.5.	Повышение надежности пьезоэлектрических датчиков акустических давлений	137
5.	ОБЪЕМНОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ ДАВЛЕНИЯ	143
5.1.	Аномальные явления в объемночувствительных преобразователях	143
5.2.	Изменение температуры среды при адиабатическом процессе	145
5.3.	Модель объемночувствительного преобразователя	147
5.4.	Экспериментальная проверка модели.....	153
5.5.	Контрольные датчики давления	158
5.6.	Виброзащищенные датчики давления	159
5.7.	Миниатюрные датчики давления	162
6.	МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ	166
6.1.	Постановка задачи электротермоупругости.....	166
6.2.	Сравнение аналитических и численных решений.....	169
6.3.	Методы анализа и синтеза пьезоэлектрических датчиков.....	176
6.4.	Анализ датчиков давления	181
6.4.1.	Коэффициент преобразования.....	184
6.4.2.	Собственные частоты.....	185
6.4.3.	Вибрационная и деформационная чувствительности.....	188
6.4.4.	Прочность в нормальных и рабочих условиях	191

6.4.5. Исследование путей оптимизации конструкции датчика.....	199
6.4.6. Основные характеристики пьезоэлектрических датчиков давления.....	204
6.4.7. Оценка информативности пьезоэлектрических датчиков давления с помощью обобщенного показателя качества.....	208
7. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ	214
7.1. Анализ температурных напряжений в гидроакустических антеннах.....	214
7.2. Исследование АЧХ виброакустических датчиков.....	221
7.3. Пьезоэлектрические преобразователи для ультразвуковых расходомеров газа.....	225
7.4. Вибрационные сигнализаторы уровня.....	234
7.5. Универсальный вибрационный плотномер жидкости и газа	247
7.6. Датчики изгибающего момента для вихревых расходомеров.....	251
8. ВИХРЕВЫЕ РАСХОДОМЕРЫ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ	264
8.1. Принцип действия вихревых расходомеров и основные требования к преобразователям энергии потока	264
8.2. Вихревые расходомеры жидкости	271
8.3. Вихревые расходомеры газа.....	275

8.4. Вихревые расходомеры пара	278
8.5. Вихревые расходомеры ведущих мировых фирм	282
8.6. Области применения вихревых расходомеров с пьезоэлектрическими датчиками.....	285
8.7. Тенденции развития вихревой расходомерии	287
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	290
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	291
ЛИТЕРАТУРА	293