

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК 621.317.39:531.781.2

ЗУБИЦОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПРОЧНОСТИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ

Специальность 05.27.06. – технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов
электронной техники

05.11.15. метрология и метрологическое обеспечение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Минск, 2001

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Работа выполнена в Полоцком государственном университете

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор
Баранов В.В., БГУИР, кафедра Электронной
техники и технологий

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Лыньков Л.М., БГУИР, факультет
Компьютерного проектирования;

доктор физико-математических наук, профессор
Зуйков И.Е., БГПА, кафедра Информационно-
измерительной техники и технологий;

доктор технических наук, старший научный
сотрудник
Зеленин В.А., Физико-технический институт
НАНБ, лаборатория равновесных систем.

Оппонирующая организация:

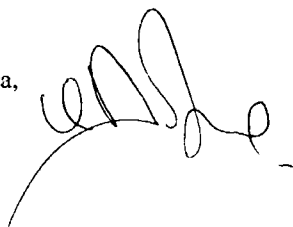
Научно-производственное объединение
“Интеграл”

Защита состоится 11 октября 2001 года в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.03 в Учреждении образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники” (220027, г. Минск, ул. П. Бровки, 6; тел. 239-8989).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения образования “Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники”.

Автореферат разослан 11 сентября 2001 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.ф.-м.н., профессор



Абрамов И.И.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Общая характеристика работы

Актуальность темы диссертации. Надежность изделий электронной техники определяется показателями качества конструкционных материалов и несущих элементов конструкций, а ее увеличение снижает эксплуатационные затраты и экономит сырьевые и топливно-энергетические ресурсы, что в настоящее время для предприятий Республики Беларусь входит в число первостепенных задач. Прогнозирование надежности с целью уменьшения затрат тесно связано с оценкой прочностных характеристик материалов. В значительной мере эти проблемы могут быть решены применением неразрушающих методов и устройств для инженерной оценки прочности материалов, изделий из них, элементов конструкций и самих конструкций, в том числе во время их эксплуатации.

Прочность, как известно, свойство твердых тел сопротивляться разрушению, а так же пластической деформации под действием внешних нагрузок. Внешние воздействия могут быть как простыми: механическими, тепловыми, электрическими и др., так и сложными комбинациями простых воздействий, в результате которых развиваются механические напряжения и деформации в твердом теле.

Критериями в классической теории прочности являются характеристики прочности при простом статическом нагружении: пределы прочности при одноосном растяжении T_p , сжатии T_c , предел прочности при сдвиге τ_{max} . Применительно к конструкционным материалам и изделиям электронной техники в зависимости от свойств материала и условий эксплуатации дополнительно необходимо учитывать: максимальную относительную деформацию S_p , время от начала до разрушения τ_p и

удельную работу деформации до разрыва, определяемую как $A_p = \int_0^{S_p} T(s) dS$,

где T – механическое напряжение, S – деформация.

Анализируя возможности комплексной оценки прочности, можно выделить следующие недостатки: точное определение A_p , τ_p , S_p – процесс сложный и трудоемкий, сами характеристики условны, невозможность применения к эксплуатируемым изделиям, так как метод разрушающий. Для реализации неразрушающего контроля, в связи с его практической целесообразностью, следует использовать в качестве основного показателя прочности материалов и изделий то значение T , которое лишь предшествует пластической S .

Как известно твердое тело сочетает в себе как упругие, так и вязкие свойства. Согласно модели Максвелла, эти характеристики описываются дифференциальным уравнением: $dS/dt = dT/\gamma dt + T/\eta_b$ (1), где S – деформация; γ – модуль упругости; T – механическое напряжение; η_b – вязкость.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

При $T=const$ реализуются условия вязкого течения $T=\mu \cdot dS/dt$ (Закон Ньютона); видно что η_b - это коэффициент пропорциональности между нагрузкой и скоростью деформации, если же $S=const$, уравнение (1) принимает вид: $1/T \cdot dT/dt = -\gamma/\eta_b$. Из чего следует, что T и dT/dt (скорость изменения напряжений) зависят от модулей упругости и вязкости. Поскольку γ и η_b являются константами, их можно рассматривать в качестве физических характеристик материала. Следовательно эти характеристики являются не условными, а исчерпывающими, когда речь не идет о разрушении материала при оценке прочности. Кроме того, использование γ и η_b в качестве показателей оценки прочности согласуется с законом термодинамики, т.к. определяет время релаксации ($\tau = \eta_b/\gamma$).

Наличие пор, трещин, микротрещин и других дефектов снижает прочность материалов. Определение гигроскопичности позволяет оценить связанную с этим потерю прочности.

Итак, модуль упругости, вязкость и гигроскопичность являются характеристиками, учитывающими особенности применения материалов электронной техники в зависимости от условий их эксплуатации.

Использование в качестве базовых прочностных характеристик, предела упругости T_{yn} , модуля упругости, вязкости, гигроскопичности, вместо предела прочности T_b , относительной деформации S_p , времени до разрушения t_p и удельной работы деформации разрушения A_p позволяет проще, более оперативно, достоверно, без разрушения образцов материала и во время его эксплуатации получать информацию для инженерной оценки прочности материалов электронной техники, под которой будем подразумевать **практическую механическую прочность**, то есть предельную способность материала сопротивляться пластической деформации при воздействии внешних механических нагрузок. Под инженерной оценкой прочности понимается общая оценка способности сопротивляться максимальным эксплуатационным нагрузкам.

Связь работы с крупными научными программами, темами.
Работа выполнялась в соответствии с 5-летней госбюджетной НИР "Исследование электрофизических свойств легированных полупроводниковых материалов и пьезоэлектриков с целью изготовления приспособлений (устройств) неразрушающего контроля оптомикроэлектроники", входящих в программу фундаментальных исследований НАН Б "Разработка и исследование новых принципов образования перспективных опто- и микроэлектронных систем сохранения, переработки и обработки информации"; НИР "Разработка методов исследования внутренних напряжений в композиционных материалах на основе полиолефинов", входившей в этап T2 задания 02.07 целевой комплексной научно-технической программы ОЦ.013 "Разработка технологии и создание промышленного производства высоконаполненных и композиционных труб, листов, машиностроительных, строительных и других

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

изделий из них"; планами Министерства образования РБ Полоцкого госуниверситета и целого ряда других НИР, выполняемых Полоцким госуниверситетом по заказу промышленных предприятий.

Цель и задачи исследования. На основе результатов теоретических и экспериментальных исследований взаимосвязи механической нагрузки пьезоэлектриков и возникающей напряженностью электрического поля, а также характера взаимодействия контролируемой твердой среды с устройствами контроля, разработать и освоить на промышленных предприятиях новые методы и средства инженерной оценки прочности материалов и изделий электронной техники с учетом условий эксплуатации последних, обеспечивающих повышение надежности, экономию сырьевых, топливно-энергетических и трудовых ресурсов.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ электроупругости пьезоэлектриков, а также пьезопреобразователей механических величин на их основе. Установить количественные взаимосвязи различных механических нагрузок и условий нагружения с возникающими при этом в пьезокристаллах электрическими полями, а также характеристик контролируемой среды с особенностями конструкций преобразователей контроля T при оценке прочности твердых сплошных сред (ТСС).

Исследовать факторы, влияющие на точность измерения пьезопреобразователей и позволяющие контролировать ими T внутри ТСС. Исследовать метрологические характеристики пьезопреобразователей, используя разработанную методику метрологической аттестации.

2. Разработать математическую модель пьезопреобразователей напряжения (ППН) контроля и исследования T при оценке прочности деформируемых материалов, обеспечивающих высокую чувствительность, линейность измерения, избирательность и возможность использования их в зависимости от свойств контролируемой среды.

3. На основе анализа математической модели напряженно-деформированного состояния (НДС) твердого тела обосновать методологию инженерной оценки практической прочности.

Разработать метод контроля механических напряжений в инженерной оценке прочности твердых тел и измерительные пьезопреобразователи ППН, у которых отсутствует акустическое взаимодействие с контролируемой средой, а также способные функционировать в широком диапазоне температур ($-200...+200$) °C; освоить их на промышленных предприятиях.

4. Создать программу и методику метрологической аттестации пьезопреобразователей механических напряжений в оценке прочности. Провести метрологическую аттестацию преобразователей.

5. Разработать экспресс-методы и устройства исследований и контроля прочностных характеристик ТСС, учитывающих условия эксплуатации, а

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

также условия переработки полимерных материалов в изделия, методики их применения.

6. Провести классификацию разработанных устройств исследований и контроля характеристик прочности ТСС. Создать и освоить на промышленных предприятиях методы исследования и процессы контроля практической прочности ТСС.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются пьезоэлектрические моно – и поликристаллы, твердые сплошные среды. Предметом изучения являются методы исследования практической механической прочности материалов и изделий из них, пьезоэлектрические устройства и техпроцессы контроля, позволяющие повысить достоверность результатов, уменьшить эксплуатационные и сырьевые затраты.

Гипотеза. Неразрушающие статические испытания характеристик прочности материалов и эксплуатируемых изделий с учетом условий их функционирования можно реализовать с использованием пьезоэффекта, если принципиально решить проблему взаимосвязи механического напряжения и напряженности электрического поля в пьезоэлектриках при проектировании датчиков, способных регистрировать выходной сигнал пьезоэффекта, полученного от статических механических напряжений, исследования и контроля НДС внутри контролируемых сред, а также использовать экспресс-методы и средства исследования и контроля характеристик учета условий эксплуатации материалов и изделий.

Методология и методы проведенного исследования. Методология исследований включает установление взаимосвязей механического нагружения пьезоэлектриков с возникающей при этом напряженностью электрического поля, разработку экспресс – методов и средств исследования и контроля в инженерной оценке практической прочности ТСС; программы метрологической аттестации, устанавливающей методику проведения метрологических исследований пьезопреобразователей ППН; отработку техпроцесса изготовления пьезопреобразователей для контроля и исследования.

В процессе исследований свободных и установленных в контролируемую среду пьезопреобразователей ППН измеряли электрические напряжение и ток, частоту колебаний чувствительных пьезокристаллов и температуру.

Проведены: исследования чувствительности пьезокристаллов к деформациям растяжения, сжатия, изгиба; исследования влияния $U_{\text{вх.сиг}}$ на выходной сигнал ППН, функционирование ППН при разных видах нагружения и в различных средах с последующим проведением сравнительного анализа; исследования влияния высоких и низких температур ($-196 \div +200$) °C на работу ППН; сравнительный анализ напряженного состояния полимеров по теоретическим и экспериментальным результатам; испытания и анализ важнейших характеристик и особенностей применения

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

устройств экспресс – контроля. Для выполнения исследований использовали микроскоп МИМ-7, цифровой вольтметр В7-27А, частотомер ЧЗ-33, электронный мост, генераторы переменного напряжения ГЗ-III, ГЗ-131, ГЗ-104, нагружающее механическое устройство ТК-14-250, ЭВМ..., электропривод 4А80А4УЗ, грузопоршневые манометры МТ-600, МП-60, сдвиговой прибор ВСВ-25, мегомметр МИ-07, барометр – анероид, термошкафы, микрометры и др.

Научная новизна и значимость полученных результатов.

- разработана математическая модель, взаимосвязи статической механической нагрузки в пьезоэлектриках с возникающей при этом напряженностью электрического поля, которая позволяет прогнозировать в разрабатываемых пьезопреобразователях существенные для точности измерения характеристики: чувствительность, линейность, диапазон измерения, управление избирательностью и электроупругостью, возможность учета упругих свойств контролируемой среды, определение частотных постоянных и параметров эквивалентной схемы. На основе анализа математической модели напряженно-деформируемого тела предложены для оценки практической прочности с учетом условий эксплуатации, в качестве критериев: предел упругости, модуль упругости, вязкость и гигроскопичность материалов;

- впервые показано, что использование незакрепленного чувствительного элемента приводит к максимальному повышению чувствительности за счет увеличения частоты резонанса в пьезопреобразователях механических напряжений, представляющих устройства отображения информации о напряженном состоянии контролируемого объекта. Согласно теоремы Котельникова именно увеличение в два раза частоты колебаний (резонансных в данном случае) позволяет передавать информацию без искажений (без изменений) и с максимальной скоростью, что и приводит к увеличению чувствительности.

- впервые установлено, что диапазон линейности преобразования расширяется за счет возбуждения ППН на частоте антирезонанса, на 50-60% по отношению к ППН на резонансной частоте, что объясняется увеличением коэффициента электромеханической связи ($K_{св}$) на частоте антирезонанса и компенсацией завала АЧХ ППН.

- впервые предложен оригинальный тип ППН, который снабжен системой, управления его электроупругости, выравнивающей деформации ППН и контролируемой среды, что особенно важно при исследованиях сред с нелинейной зависимостью $S=f(T)$, где модуль упругости изменяется при изменениях T . При этом, погрешность измерения уменьшается, т.к. уменьшается искажение силового поля вокруг ППН. Конструкции разработанных ППН обладают высокой S_r (до 180 мВ/МПа) различны по

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

своим жесткостям и перекрывают ее в диапазоне $5 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^5$ МПа, что дает возможность использовать различные типы ППН в зависимости от жесткости среды для повышения точности измерения. Показано, что ППН обладают избирательностью к полезному сигналу за счет выбора вектора напряженности электрического поля (Е), совпадающего с направлением измеряемой компоненты механического напряжения Т;

- экспериментально установлено, что чувствительность (S_T) ППН увеличивается с повышением амплитуды, а также частоты электрического напряжения возбуждения ($U_{\text{вз}}$) и уменьшением его жесткости. $U_{\text{вз}}$ ограничивается нелинейностью, а уменьшения жесткости - прочностью и диапазоном измерения ППН. Показано, что в пьезоэлектриках системы ЦТС нелинейность проявляется при $E=300$ В/см. S_T ППН в материале выше, чем в свободном состоянии на величину концентрации Т вокруг ППН и составляет 10-15%.

- создана программа и методика метрологической аттестации ППН, подтверждающая достоверность их работы при статических испытаниях прочности деформируемых сред. Исследовано влияние высоких и низких температур на работу ППН. Установлено, что использование кристаллов ниобата лития обеспечивает работоспособность ППН при температурах $-196 \dots +80$ °С, а кристаллов кварца - $-20 \dots +200$ °С.

- разработаны экспресс - методы и средства исследования и контроля вязкости, модуля упругости, гигроскопичности, являющихся эксплуатационными показателями твердых сплюснутых сред и определяющих условия переработки полимеров в изделия.

Теоретически выведена и экспериментально подтверждена формула, позволяющая использовать с учетом паспортных данных серийно выпускаемых отечественной промышленностью асинхронных электродвигателей в качестве первичного преобразователя вязкости (η_v), которая находится в прямопропорциональной зависимости от потребления электротока (I): $\eta_v = f(K \cdot I)$, где K - коэффициент, учитывающий паспортные данные электродвигателя. Модуль упругости определяется по f^2 упругих колебаний контролируемого материала, а гигроскопичность - использованием эффекта Доплера.

Практическая, экономическая значимость полученных результатов. Полученные в работе результаты использованы при инженерной оценке практической прочности материалов и изделий, в том числе и конструкционных материалов электронной техники, а также при решении материаловедческих задач по определению условий переработки полимерных материалов в изделия, и эксплуатационных показателей материалов и изделий.

1. Созданы и освоены метод и устройства инженерной оценки прочности материалов и изделий. Внедрение разработанных метода и устройств

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

контроля, рекомендаций, позволило уменьшить в 3-5 раз остаточные напряжения, возникающие в металлопластовых трубах и приводящие к их растрескиванию, и тем самым увеличить их прочность. Применение метода и устройств контроля НДС в оценке прочности элементов конструкций позволило получить расчетные данные для увеличения мощности установки сорбента – носителя на Новополоцком ПО «Полимир».

2. Разработана методика исследований НДС полимеров при литье под давлением, позволившая оценить прочность и изучить влияние внутренних напряжений на условия переработки силанольно-сшивающего полиэтилена. Результаты исследований внедрены при освоении в производстве полимерных композиций на НПО «Пластполимер», а также в учебном процессе Полоцкого государственного университета.
3. Выработаны рекомендации по проектированию ППН для оценки прочности в условиях плотного прилегания контролируемой среды, способных работать при высоких и низких температурах $-196 \dots +200^\circ\text{C}$, а также по использованию их в зависимости от упругих свойств контролируемых сред. Исследования, выполненные по контролю напряженного состояния посредством разработанных устройств ППН-1, 2, 3, 4, показали возможность использования измеренных T для оценки прочности полимеров, имеющей важное значение в определении условий их переработки в изделия и эксплуатации.
4. Разработанные экспресс методы и устройства контроля физико-механических характеристик при испытаниях прочности материалов и изделий использованы в практике анализа свойств полимеров при выходном контроле. Для оценки реологических характеристик полимеров высокого давления применено устройство контроля вязкости, обладающее простотой и оперативностью измерения по сравнению с широко используемыми в практике вискозиметрами.
5. Разработана методика метрологических исследований устройств контроля и проведена оценка погрешности свободных преобразователей (при градуировке) и помещенных в контролируемую среду. Погрешность результатов измерений оценивалась следующими параметрами: среднеквадратическим отклонением случайной составляющей погрешности $\sigma[B]$, равным 0,005; 0,002; 0,0005; систематической составляющей погрешности $\Delta_c[B]$, равной 0,0085; -0,004; 0,004; вариацией выходного сигнала $v[B]$, равной 0,005; 0,004; 0,002; относительной погрешностью $\delta[\%]$, равной 2, 1; -0,9; -0,43, соответственно для ППН-1; ППН-2 и ППН-3. Определены также погрешности измерения T в ТСС, интерпретированных градуировочными данными, полученными при нагружении преобразователей гидростатическим давлением и одноосным нагружением. Здесь, в отличие от оценки погрешностей измерений при

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

градуировке, были использованы только 2 параметра погрешностей, наиболее часто употребляемые в технике измерений: относительная погрешность и среднеквадратическое отклонение случайной составляющей, которые во всех случаях не превышают, соответственно 2,5%, и 0,002 В.

6. Проведена метрологическая аттестация устройств T , подтверждающая достоверность результатов. Получены свидетельства метрологической аттестации, согласно которым наиболее часто используемые при оценке погрешностей измерений параметры: относительная погрешность и вариация выходного сигнала – равны, соответственно, для ППН-1 – 3,1% и 0,005; для ППН-2 – 0,9% и 0,004В; для ППН-3 – 0,43% и 0,002В.
7. Подтвержденный годовой экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы на научно – производственном предприятии «Пластополимер», приведенный к установленному курсу Нацбанка РБ на 6.01.1998г., составляет 1,26 млрд. руб. или 109,5 тыс. у.е.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- результаты теоретических и экспериментальных исследований ППН, созданных на основе предложенной математической модели, с закрепленными на концах и свободными пьезокристаллами; в т.ч. полученные выражения для частотных постоянных пьезорезонаторов и динамических параметров эквивалентной схемы. Установлено, что пьезопреобразователи контроля напряженного состояния в оценке прочности деформируемых сред с закрепленными пьезокристаллами имеют f колебаний в 2 раза меньше, чем со свободными.

- метод повышения чувствительности ППН при оценке прочности за счет использования незакрепленного чувствительного пьезокристалла и расширение диапазона линейности измерения за счет возбуждения его на f_a .

- ППН для оценки прочности конструкционных материалов электронной техники, выполненные как параметрические датчики с пьезотрансформаторной схемой токовыводов, у которых отсутствует акустическое взаимодействие с контролируемой средой, способные измерять статические механические напряжения за счет модуляции входного сигнала переменным напряжением внешнего источника.

- управляемой селективностью ППН, достигаемой за счет выбора вектора напряженности переменного E , обеспечивающего колебательный режим и совпадающего с направлением измеряемой компоненты T ; другие компоненты T не могут влиять на измерение, т.к. находятся в статическом режиме. Динамический же режим обеспечивается только в направлении измеряемой компоненты.

- ППН с управляемой электроупругостью для регулирования их жесткости в процессе измерения для повышения точности и работоспособностью в широком диапазоне температур (-196 ... +200)⁰С.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

- экспресс-методы и средства исследования и контроля характеристик прочности конструкционных материалов электронной техники с учетом условий их эксплуатации.

Личный вклад соискателя. В настоящей работе систематизирован и обобщен 20 – летний опыт соискателя по созданию и внедрению рациональных метода и устройств контроля напряженного состояния в инженерной оценке практической прочности твердых сплошных сред, экспресс – методов и устройств контроля физико–механических характеристик, учитывающих условий эксплуатации материалов и изделий, а также определяющих условия переработки полимерных материалов в изделия на НИИ «Гласполимер» и Новополоцком ПО «Полимир» и других предприятиях и учреждениях РБ.

Основные результаты работ автором получены самостоятельно. При выполнении работы соискателем проведены теоретические исследования и экспериментальные работы по созданию предложенных методов и средств инженерной оценки практической прочности материалов и изделий. Разработаны и внедрены в производство техпроцессы и устройства для осуществления исследовательских испытаний материалов в инженерной оценке практической прочности. При создании методов и устройств контроля прочностных характеристик автором выполнены исследования взаимодействия механических нагрузок пьезоэлектриков с возникающей при этом E , изучено влияние высоких и низких температур на работоспособность ППН.

В результате исследований выявлены факторы влияющие на чувствительность, диапазон измерения, избирательность, электроупругость важнейших характеристик измерительных устройств, влияющих на точность измерения.

Разработаны принципы конструирования устройств контроля T в оценке прочности ТСС. Проведена классификация разработанных устройств контроля прочностных характеристик. Создана программа метрологической аттестации и проведена метрологическая аттестация ППН для оценки прочности ТСС. За разработку устройств контроля T соискателем получены серебряная и бронзовая медали ВДНХ СССР.

Апробация результатов диссертации. Основные положения и результаты работы были доложены и обсуждены на следующих научно – технических конференциях, симпозиумах и конференциях: «Неразрушающие физические методы и средства контроля». (Минск, 1981); «Положение бетонных смесей и технологические задачи». (Юрмала, 1982); XII конференция молодых ученых и специалистов Прибалтики и Белорусской ССР по проблемам строительных материалов и конструкций. Рига, 1984; XI научно – технической конференции по итогам научно – исследовательских работ. (Новополоцк, 1984); «Экспериментальные исследования инженерных сооружений». (Новополоцк, 1986); «Исследование напряженного состояния

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

железобетонных конструкций в строительстве» (Львов, 1987); «Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения», (Новополоцк, 1993); «Ученые и специалисты народному хозяйству», Могилев, 1995); «Научное и аналитическое приборостроение», (Минск, 1995); «Современные проблемы радиотехники, электроники и связи», (Минск, 1995); «Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин», (Новополоцк, 1995); «Экспериментальные исследования и испытания сооружений», (Москва, 1998); «Нелинейные явления в сложных системах», (Минск, 1995); «Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике» (Минск, 1998); «Методы технического диагностирования и прогнозирования остаточного ресурса конструкций и оборудования, работающего под давлением», (Новополоцк, 1999); «Ультразвуковая техника и технология», (Минск, 1999); «Belarus Congress on theoretical and applied mechanics», (Minsk, 1999); «Актуальные проблемы прочности», (Витебск, 2000); «Геодезия, картография и кадастры», (Новополоцк, 2000); «Современные проблемы микроэлектроники», (Новополоцк, 2000); «Полимермаш – Si», (Киев, 1991); «Использование современных физических методов», (Хабаровск, 1987); «Ресурсооберегающие и экономически чистые технологии», (Гродно, 1996).

Опубликованность результатов. По результатам выполненных исследований опубликованы 62 работы, в том числе 1 монография, 1 информационный обзор, 20 статей в научно – технических журналах и 4 научных работы в рецензируемых сборниках материалов международных конференций (из них 18 без соавторства), 25 тезисов докладов на научно – технических конференциях, 6 информационных бюллетеней, 1 депонированная статья и 3 учебно-методических пособия. Получено 5 патентов и авторских свидетельств на изобретения.

Общий объем материалов по диссертационной работе составляет 408 стр.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, списка условных обозначений и сокращений, общей характеристики работы, шести глав, выводов, списка использованных источников и 2-х приложений. Работа содержит 238 страниц, в том числе 177 страниц машинописного текста, 54 страниц рисунков, 11 таблиц, 18 страниц списка литературных источников (наименований). Приложения 27 страниц, содержащие программу метрологической аттестации, расчеты подтвержденной технико-экономической эффективности внедрения работ по диссертации, акты внедрения, свидетельства метрологической аттестации.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Основное содержание работы.

Во введении на основе анализа математической модели НДС тела сделаны выводы о том, что для инженерной оценки практической механической прочности с учетом условий эксплуатации в качестве показателей целесообразно выбрать предельное значение T , при котором в телах еще не наступают необратимые формоизменения (предел упругости), модуль упругости, вязкость и гигроскопичность. Под практической прочностью следует понимать не антипод теоретической прочности, а предельную способность сохранять целостность продукта технологии как типичного представителя материала – образца при воздействии внешних механических нагрузок.

Первая глава посвящена анализу электроупругости пьезоэлектрических материалов и преобразователей механических величин на их основе. Даны систематизированные сведения об основах пьезоэффекта, характеристики наиболее распространенных материалов, обладающих этим эффектом, сведения об пьезопреобразователях, использующих объемные и поверхностные акустические волны. Отражено современное состояние вопроса измерения T – основного показателя в оценке прочности твердых деформируемых сред, нелинейно – упруго работающих под нагрузкой. Нелинейность и неоднозначность связи между напряжениями в таких средах не дает возможности с достаточной для практических целей точностью определить напряженное состояние деталей материалов и изделий по измеренным деформациям. Потребовался новый класс приборов, получивших название «датчики напряжений». Такие приборы были созданы на базе магнитоупругого и резистивного эффектов. Работы с магнитоупругими приборами пока не привели к существенному уменьшению их толщины, градуировочная кривая сильно нелинейная, трудно исключить влияние касательных напряжений.

Полупроводниковые приборы могут быть изготовлены в виде тонкой пленки, но это требует применения совершенной технологии, специального дорогостоящего оборудования, что влечет за собой повышение их стоимости.

Гидравлические приборы малочувствительны к неупругим деформациям и изменениям модуля упругости, имеют относительно большие габариты, сложную и дорогостоящую конструкцию, ограниченный диапазон измерений.

В последние годы ведутся интенсивные разработки по созданию преобразователей напряжений на базе пьезоэлектрического эффекта что, безусловно, актуально, так как открывает возможности использования хорошо изученных пьезоэлектрических кристаллов для исследования твердых деформируемых сред в режиме не только динамического, но и статистического напряжений. Это стало возможным благодаря внедрению

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Монография

1. Зубцов В. И. Пьезоэлектрический контроль прочности. – Новополоцк: ШУ, 1999. – 147с.

Обзор информации

2. Зубцов В. И. Электроупругость пьезоматериалов и измерительные преобразователи на их основе (обзор информ.) / Полоцкий гос. ун-т. – Новополоцк, 1998 – 62 с. Деп. в ин-те Белинформпрогноз 12.12.98. № 2160-В98 // Реферат. сб. непуб. раб. 1998. – №12. – 1998 Деп. – С.45.

Статьи в научно-технических журналах

3. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Использование пьезопреобразователей для измерения постоянных механических напряжений в твердых сплошных средах// Приборы и системы управления–1985. -№12. – С. 20-22.
4. Зубцов В. И. Пьезоэлектрический метод и средство измерения модуля упругости конструкционных материалов.// Энергетика. Изв. Вузов и энергетических объединений СНГ, – 1998, - №4. - С.36-38.
5. Зубцов В. И. Частотно – резонансный метод измерения модуля упругости материалов.// Инженерная физика. – 1999. - №1. - С. 3-4.
6. Зубцов В. И. Ультразвуковой метод и средство оценки гигроскопичности материалов.// Экологические системы и приборы. – 1999. - №1. - С.30-32.
7. Зубцов В. И. Методы и средства оценки прочностных характеристик.// Приборы. Справочный журнал. – 1999. - №7. – С. 38-43.
8. Зубцов В. И. Измерение вязкости расплавов (растворов) полимерных и упругих конструкционных материалов.// Приборы и системы управления. – 1999. - №7. - С.40-41.
9. Зубцов В. И. Контроль напряжённого состояния твердеющих материалов пьезоэлектрическими датчиками при высоких температурах.// Приборы и системы управления. – 1999. - №10. - С.33-35.
10. Зубцов В. И. Устройство контроля механических напряжений в условиях глубокого холода.//Приборы. Справочный журнал.—1999. - №10. - С. 19-23.
11. Зубцов В. И. Экспресс—метод контроля модуля упругости.//Контроль. Диагностика.—1999. - №11. – С. 25-26.
12. Зубцов В. И. Пьезоэлектрическое устройство контроля напряжённого состояния.// Контроль. Диагностика.—1999. - №12. - С. 29-31.
13. Зубцов В.И., Васюков А.В. Датчики давления с использованием тензо- и пьезоэффектов //Приборы и системы управления. – 1999. - №12. – С. 29-34.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

14. Зубцов В. И. Экспресс—метод определения вязкости расплавов(растворов) твердеющих материалов.// Контроль. Диагностика.—2000. - №3. - С. 36-38.
15. Зубцов В.И. Негэнтропийный принцип передачи информации измерительными датчиками механических напряжений // Контроль. Диагностика. – 2000. - №10. – С. 15-17.
16. Зубцов В.И. Физические основы работы пьезорезонансных аналоговых преобразователей и расширение диапазона линейности измерения.// Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2000. - №2. - С. 57-61.
17. Зубцов В.И. Оценка прочности гигроскопичных материалов с использованием эффекта Доплера.// Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2000. - №1. – С. 51-53.
18. Зубцов В.И. Увеличение диапазона линейности измерения пьезопреобразователей контроля механических напряжений.// Контроль. Диагностика.—2000. - №2. – С.49-51.
19. Зубцов В.И. Метод и средство оценки прочности гигроскопичных материалов.// Контроль. Диагностика.—2000. - №1. - С. 31-33.
20. Зубцов В.И. Электрические преобразователи контроля напряженного состояния материалов с использованием пьезоэффекта.// Энергетика. Изв. Вузов и энерг.объед. СНГ. – 2000. - №4. - С. 34-42.
21. Зубцов В.И. Механизм передачи информации пьезодатчиками механических напряжений // Приборы и системы. Управление, Контроль, Диагностика. – 2000. - №9. - С. 44-48.
22. Зубцов В.И., Баранов В.В. Пьезотрансформаторные преобразователи контроля статических механических напряжений // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2000. - №1 – С. 45-48.

Материалы научных конференций

23. Зубцов В.И., Пузына О.А., Зависговский В.Э. Контроль напряженно-деформируемого состояния материалов при высоких и низких температурах // Механика - 99: Матер. 2 Белор. Конгр./ Мин. обр. Респ. Бел., НАН Б. – Минск, 1999. – С. 82.
24. Зубцов В.И. Акустика при определении влажности, оценке прочности пористых материалов // Механика - 99: Матер. 2. Белор. Конгр./Мин. обр. Респ. Бел., НАН Б. – Минск, 1999. – С.330.
25. Баранов В.В., Зубцов В.И. Расширение диапазона измерения пьезотрансформаторных преобразователей // Геодезия, картография и кадастры: Матер. междунар. НТК. / Мин. обр. Респ. Бел., Гос. ком. по геодез. и картогр. РБ., Полоцкий гос. ун-т. — Новополоцк, 2000. – С. 58-60.
26. Баранов В.В., Зубцов В. И. Передача информации и избирательность пьезодатчиков механических напряжений // Геодезия, картография и

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

кадастры: Матер. междунар. НТК. /Мин. обр., Респ. Бел., Гос. ком. по геодез. и картогр. РБ., Полоцкий гос. ун-т. — Новополоцк, 2000 — С. 60-62.

Тезисы докладов на научных конференциях

27. Фомица Л.Н., Зубцов В.И., Попков Ю.В. Об использовании пьезоэлектрических материалов для измерения постоянных и медленно изменяющихся напряжений // Неразрушающие физические методы и средства контроля: Тез. докл. Всес. научн. конф./ Акад. наук СССР, Акад. наук БССР, Мин. высш. и ср. спец. обр. БССР. - Минск, 1981. - С. 217-218.
28. Зубцов В.И. Пьезоэлектрический датчик для измерения напряжений в бетоне // Реология бетонных смесей и технологические задачи: Тез. докл. Всес. научн. симпоз./ НТО стройиндустр. Латв. ССР, Рижский политех. инст. - Рига, 1982. - С. 98.
29. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Контроль напряженного состояния бетонов с использованием пьезопреобразователей // Реология бетонных смесей и технологические задачи: Тез. докл. Всес. научн. симпоз./ НТО стройиндустр. Латв. ССР, Рижский политех. инст. - Рига, 1982. - С. 68.
30. Зубцов В.И. Пьезоэлектрический преобразователь для измерения напряжений в бетоне, пластмассах и других нелинейно-упругих твердствующих материалах // Проблемы строительных материалов и конструкций: Тез. докл. Всес. научн. конф./ НТО стройиндустр. Латв. ССР, Рижский политех. инст., Акад. наук Латв. ССР. - Рига, 1984. - С. 143.
31. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Пьезоэлектрические датчики для измерения механических напряжений // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Тез. докл. Всес. научн. конф./ Госстрой СССР, НИИСК Госстроя СССР, Новоп. политех. ин-т. - Новополоцк, 1986. - С. 187.
32. Зубцов В.И. Влияние нормальных напряжений в грунте на пьезоэлектрический датчик // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Тез. докл. Всес. научн. конф. / Госстрой СССР, НИИСК Госстроя СССР, Новоп. политех. ин-т. - Новополоцк, 1986. - С. 259.
33. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Пьезоэлектрический датчик для измерения механических напряжений // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Тез. докл. НТК./ Госстрой СССР, НИИСК Госстроя СССР, Новоп. политех. ин-т. - Новополоцк, 1986. - С. 98.
34. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Новые пьезопреобразователи для измерения напряженного состояния внутри твердого деформируемого тела // Использование современных физических методов в неразрушающих методах и контроле: Тез. докл. Всесоюзн. научн. конф./ДВНЦ Акад. наук СССР, Мин. высш. и ср. спец. обр. СССР. - Хабаровск, 1987. - С. 47-48.
35. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Система для измерения механических напряжений в нелинейно-упругой среде // Экспериментальные

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

исследования и испытания строительных металлоконструкций: Тез. докл. Всес. научн. конф./ Госстрой СССР, Львовский политех. инст., Львовский дом техники НТО. - Львов, 1987. - С. 176.

- 36.Зубцов В.И., Василенко В.С. Немеханическое измерение момента вращения вала привода смесителя для оценки реологических характеристик полимеров // Полимермаш – 91: Тез. докл. Межд. научн. - техн. конф. Полимермаш-91./Акад. наук УССР, Мин. высш. и ср. спец. обр. СССР, Киевский политех. ин-т. – Киев, 1991. – С. 72.
- 37.Зубцов В.И., Фомица Л.Н. Пьезопреобразователи механических напряжений // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Тезисы докл. Всес. научн.-техн. конф./ Госстрой СССР, Мин. высш. и ср. спец. обр. УССР, Сумский сельхоз. ин-т. – Сумы, 1991. - С. 102.
- 38.Зубцов В.И., Селиханович А.С. Измерение механических напряжений внутри твердых сплошных сред пьезоэлектрическими датчиками // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Тез. докл.НТК./ Мин. обр. Респ. Бел., Акад. наук Респ. Бел., Новоп. политех. инст. -Новополоцк, 1993. - С. 76.
- 39.Зубцов В.И., Масловский О.П. Электрический метод измерения момента вращения вала привода смесителя для оценки реологических характеристик полимеров // Ученые и специалисты – народному хозяйству: Тез. докл. респ. научн.-техн. конф./ Могил. обл. совет СНИО, Могил. обл. правление НТО, Могил. машиностр. инст. – Могилев, 1993. – С. 42.
- 40.Зубцов В.И., Юрцевич М.М. Контроль напряженного состояния в твердых сплошных средах с автоматической коррекцией погрешности // Ученые и специалисты – народному хозяйству: Тез. докл. НТК. / Могил. обл. совет СНИО, Могил. обл. правление НТО, Могил. машиностр. инст. – Могилев, 1993. - С.43.
- 41.Зубцов В.И., Юрцевич М.М. Чувствительность пьезопреобразователей для измерения механических напряжений в материалах РЭА // Современные проблемы радиотехники, электроники и связи: Тез. докл. НТК. / Мин. обр. и науки РБ, Бел. гос. ун-т информ. и радиоэл. – Минск, 1993. – С.49.
- 42.Зубцов В.И., Юрцевич М.М. Функциональный анализ напряженного состояния сплошных нелинейно-упругих сред// Нелинейные системы: Тез. докл. междунар. научн. конф./ Акад. наук РБ, Мин. обр. и науки Респ. Бел. - Минск, 1995. – С. 72-73.
- 43.Зубцов В.И., Юрцевич Д.М. Новый метод контроля вязкости // Аналитическое приборостроение: Тез. докл. респ. научн.-техн. конф. /Акад. наук РБ, Мин. обр. и науки Респ. Бел. - Минск, 1995. – С. 63.
- 44.Зубцов В.И., Юрцевич М.М. Разработка измерительных преобразователей для контроля напряженного состояния в материалах покрытий РЭА // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

- восстановления деталей машин: Тез. докл. НТК./ Мин. обр. Респ. Бел., Акад. наук Респ. Бел., Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 1995. – С. 49.
45. Зубцов В.И. Исследование пьезоэффекта для измерения механических напряжений // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин: Тез. докл. НТК./ Мин. обр. Респ. Бел., Акад. наук Респ. Бел., Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 1995. – С. 48.
46. Зубцов В.И. Василенко В.С. Методы и средства контроля параметров для описания реологических свойств полимеров // Ресурсосберегающие и экономически чистые технологии: Тез. докл. II Междунар. научн. конф./ Мин. обр. и науки, Акад. наук Бел., ком. по энергосбер. – Гродно, 1996. – С. 92.
47. Зубцов В.И., Грозберг Ю.Г. Ультразвуковой способ контроля модуля упругости конструкционных материалов // Современ. матер., оборуд. и технол. упрочнения и восстан. деталей машин: Тез. докл. III респ. научн.-техн. конф./ Мин. обр. Респ. Бел., НАН Б, Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 1997. – С. 67.
48. Зубцов В.И., Грозберг Ю.Г. Ультразвуковой способ контроля влажности гигроскопичных материалов // Современ. матер., оборуд. и технол. упрочн. и восстан. деталей машин: Тез. докл. III респ. научн.-техн. конф./ Мин. обр. Респ. Бел., НАН Б, Полоцк. гос. ун-т. – Новополоцк, 1997. – С. 93.
49. Зубцов В.И. Ультразвуковой способ контроля модуля упругости конструкционных материалов // Экспериментальные исследования инженерных сооружений: Тез. докл. НТК./ НИИС Госстроя, ЦНИИС Минтрансстроя, Москов. инж. строит. ин-т. – Москва, 1999. – С. 47.
50. Зубцов В.И., Янушкевич В.Ф. Ультразвуковой метод и средство оценки гигроскопичности материалов // Применение ультразвука в технике: Тез. докл. НТК./ НАН Б, Мин. обр. Респ. Бел., Бел. гос. аграрн. ун-т. – Минск, 1999. – С. 81.
51. Зубцов В.И., Малухин Т.М. Физические основы пьезорезонансных преобразователей механических напряжений // Актуальные проблемы прочности: Тез. докл. Межд. семин./ Мин. обр. Респ. Бел., Гос. ком. по науке и технике РБ, Физико-техн. ин-т им. А.Ф. Йоффе РАН, НИИ матем. и мех. им. Смирнова. – Витебск, 2000. – С. 413-414.

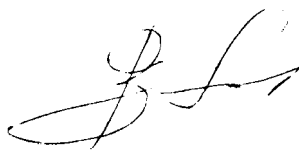
Информационные бюллетени, депонированные статьи

52. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Устройство для измерения постоянных или медленно изменяющихся напряжений // Открытия и изобретения. Информационный бюллетень / Всес. науч.-технич. информац. центр. – 1982. – №22. – С. 73.
53. Фомица Л.Н., Зубцов В.И. Преобразователь механических напряжений // Открытия и изобретения. Информационный бюллетень / Всес. науч.-технич. информац. центр. – 1988. – №12. – С. 91.

- 54.Зубцов В.И., Фомица Л.Н. Пьезоэлектрический датчик механических напряжений. // Открытия и изобретения. Информационный листок о научно-техническом достижении. / МТП НТИ и П. – Витебск, 1989. – С. 1.
- 55.Зубцов В.И., Кулеш А.П. Способ контроля кинетики пропитки жидкостью пористого материала // Открытия и изобретения. Информационный бюллетень / Всес. науч.-технич. информац. центр. – 1992. – №22. – С. 67.
- 56.Зубцов В.И., Юрцевич М.М. Устройство для измерения механических напряжений // Открытия и изобретения. Информационный бюллетень / Всес. науч.-технич. информац. центр. – 1997. – № 12. – С.98.
- 57.Зубцов В.И. Основные характеристики прочности и методы их оценки. / Полоцкий гос.ун-т. – Новополоцк, 1999. – 24с.– Рус. – Деп. В БелНИИСА 15.03.99 №199943 // Рсфер. сб. непубл. работ. – 1999. – №2. – 1999. Деп. – С.25.

Авторские свидетельства, патенты

- 58.А. с. 945687 СССР, МКИ G 01 L 9/08 Устройство для измерения постоянных и медленно меняющихся механических напряжений / Л.Н. Фомица, В.И. Зубцов. - №3007251/18-33; Заявлено 22.09.80; Оpubл. 23.07.82, Бюл. №27 // Открытия. Изобретения. - 1982. - № 27. - С. 211.
- 59.А. с. 1064165 СССР, МКИ G 01 L 1/16 Устройство для измерения нормальных механических напряжений / В.Я. Гришунин, Л.Н. Фомица, В.И. Зубцов. - №3454050/18-10; Заявлено 15.06.82; Оpubл. 30.12.83, Бюл. №48 // Открытия. Изобретения. - 1983. - № 48. - С. 145.
- 60.А. с. 1428952 СССР, МКИ G 01 L 1/16 Преобразователь механических напряжений / В.И. Зубцов, А.Г. Платонов - №3852102/18-23; Заявлено 07.07.86; Оpubл. 08.06.88, Бюл. №37 // Открытия. Изобр. – 1986. - №37. – С. 70.
- 61.А. с. 1486910 СССР, МКИ G 01 L 1/08 Способ контроля кинетики пропитки жидкостью пористого материала / В.И. Зубцов, А.П. Кулеш - №4261742/20-31; Заявлено 07.05.87; Оpubл. 09.06.89, Бюл. №22 // Открытия. Изобретения. – 1989. - №22. – С. 32.
- 62.Пат. ВУ 2054 С1, МКИ G 01 L 1/16 Устройство для измерения постоянных или медленно изменяющихся механических напряжений / Зубцов В.И., Юрцевич М.М., Селиханович А.С. - №510; Заявлено 13.07.93; Оpubл. 30.03.98 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. Ведамства Рэсп. Беларусь. – 1998. - №3. – С.89.



ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЭЗЮМЕ

Зубцоў Уладзімір Іванавіч

Эксперыментальныя метады і сродкі статычных выпрабаванняў моцнасці дэфарміруемых матэрыялаў з выкарыстаннем п'езаэлектрыкаў.

Ключавыя словы: напружанне, п'езаэлектрыкі, п'езапераўтваральнікі, электраўпругасць, інжынерная адзнака, практычная моцнасць, пагэзінасць вымярэння, дэфарміруемыя матэрыялы, цвёрдацельныя структуры.

Аб'ектам даследавання з'яўляюцца метады і сродкі фізіка-механічных даследаванняў і кантролю пры статычных вырабаваннях характарыстык моцнасці дэфарміруемых матэрыялаў, дазваляючыя павысіць надзейнасць, паменшыць эксплуатацыйныя затраты, эканамічныя рэсурсы.

Мэта працы заключаецца ў стварэнні эксперыментальных метадаў і сродкаў даследавання і кантролю моцнасці дэфарміруемых цел з выкарыстаннем п'езаэлектрыкаў.

Абараняюцца навуковыя палажэнні і вынікі тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў п'езаэлектрычных пераўтваральнікаў. Метады павышэння адчування і распаўсюення дыяпазона лінейнасці вымярэння п'езапераўтваральнікаў. Прынцыпы практавання п'езапераўтваральнікаў, працуючых на ўмовах высокіх і нізкіх тэмператур, дазваляючых кантраляваць статычныя механічныя напружанні пры адзнацы моцнасці дэфарміруемых цел.

Найдзена ўзаемасувязь статычнага напружэння з напружаннасцю электрычнага поля ў п'езаэлектрыках, што дазваляе практаваць п'езапераўтваральнікі кантроля механічных напружанняў унутры дэфарміруемых спалых асяродзяў і праводзіць інжынерную адзнаку моцнасці матэрыялаў і вырабаў электроннай тэхнікі, ў тым ліку ва ўмовах эксплуатацыі.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

РЕЗЮМЕ

Зубцов Владимир Иванович

“Экспериментальные методы и средства статических испытаний прочности деформируемых материалов с использованием пьезоэлектриков”

Ключевые слова: напряжение, пьезоэлектрики, пьезопреобразователи, электроупругость, инженерная оценка, практическая прочность, погрешность измерения, деформируемые материалы, твердотельные структуры.

Объектом исследования являются методы и средства физико-механических исследований и контроля при статических испытаниях характеристик прочности деформируемых материалов и эксплуатируемых изделий, позволяющие повысить надежность, уменьшить эксплуатационные затраты, экономить ресурсы.

Цель работы заключается в создании экспериментальных методов и средств исследования и контроля прочности деформируемых тел с использованием пьезоэлектриков.

Защищаются научные положения и результаты теоретических и экспериментальных исследований пьезоэлектрических преобразователей. Метод повышения чувствительности и расширения диапазона линейности измерения пьезопреобразователей. Принципы проектирования пьезопреобразователей, работающих в условиях высоких и низких температур, позволяющих контролировать статические механические напряжения при оценке прочности деформируемых тел.

Установлена взаимосвязь статической механической нагрузки с возникающей при этом напряженностью электрического поля в пьезоэлектриках, что позволяет проектировать пьезопреобразователи контроля механических напряжений внутри твердых сплошных сред и проводить инженерную оценку прочности материалов и изделий электронной техники, в том числе в условиях эксплуатации.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

SUMMARY

Zubtzov Vladimir Ivanovitch

Experimental methods and means of strength static tests in deformed materials with piezoelectrics

Keywords: pressure, piezoelectric, piezoelectric transducer, electroresiliency, engineering estimation, practical strength, measuring error, deformed materials, solid-state patterns.

Objects of analysis are the methods and means of physical-mechanical researches and static tests of strength in the deformed materials and used devices to improve reliability, reduce operation costs and save resources.

The purpose of activity is creation of methods and means for researching and controlling strength in the deformed materials using piezoelectrics.

The scientific items and results of theoretical and experimental researches of piezoelectric transducers are defended: the method of increasing sensitivity, extension of measurement linearity range of the piezoelectric transducers, the principles of designing transducers operated at high and low temperatures that are able to control the static mechanical stresses and estimate strength in the deformed materials.

The interconnection between static mechanical stresses and electrical field in piezoelectrics is obtained. That provides possibility to design piezoelectric transducers for controlling mechanical stresses inside solid-state media and to carry out engineering estimation of strength in some materials and electron devices and under operation conditions as well.

ОЗНАКОМИТЕЛЬНЫЙ ФРАГМЕНТ

Зубцов Владимир Иванович

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПРОЧНОСТИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИКОВ

Специальность 05.27.06. – технология и оборудование для
производства полупроводников, материалов
и приборов электронной техники
05.11.15. – метрология и метрологическое
обеспечение

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени доктора технических наук

Подписано в печать 05.09.2001.

Формат 60х84 1/16

Бумага офсетная

Печать ризографическая.

Усл. печ. л. 2,56.

Уч. изд. л. 2,0.

Тираж 100 экз.

Заказ 435.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Лицензия ЛП №156 от 05.02.2001.

Лицензия ЛВ №509 от 03.08.2001.

220013, Минск, П. Бровки, 6.