

характерных диэлектрических параметрах $\operatorname{tg}\delta$, $\Delta\operatorname{tg}\delta$, ΔC и γ , механических (вибрация), звуковых и тепловых характеристиках.

Базисными данными для оценки качества по предложенной методике служат характерные электрические параметры ЧР, позволяющие по динамике их изменения определить реальное состояние контролируемой изоляции, и, в отличие от других характеристик, зафиксировать зарождение дефекта, а, значит, и определить скорость старения изоляции.

Чувствительность предложенной системы зависит от типа используемого датчика электрического сигнала и метода фильтрации его от внешних помех-шумов.

Для нескольких типов простейших датчиков, которые могут быть изготовлены на самом энергетическом объекте, показаны способы их градуировки, закрепления на объектах испытания, а также их возможности по двум характеристикам:

- отношение «сигнал/шум», то есть помехозащищенность полезного сигнала;
- полоса пропускания коротких импульсов.

Для рассматриваемого класса маслонаполненной изоляции полоса пропускания наносекундного импульса от ЧР, возникающего в дефекте высоковольтного ввода, находится в диапазоне $0,3 \leq f_0 \leq 3,0$ МГц, тогда как при дефекте в изоляции обмотки трансформатора этот диапазон составляет $20 \leq f_0 \leq 30$ МГц.

Помимо полосы пропускания коротких сигналов, снимаемых с используемого датчика, необходимо обратить внимание на его внутреннее (или волновое) сопротивление, так как снимаемый сигнал с датчика передается в измерительный контур (систему) по стандартному

радиочастотному кабелю типа РК-50 с волновым сопротивлением $\rho_k=50$ Ом. Для сведения к минимуму искажения сигнала их волновые сопротивления должны быть согласованными, то есть $\rho_{zu} \approx \rho_k$. В особенности это относится к датчикам типа ИРЗ (измеритель растекания заряда, имеющий $\rho_{zu} \sim 0$), или луп-антенна (рамка одновитковая с $\rho_{zu} \sim 200$ Ом).

Основным датчиком электрических сигналов, вызванных ЧР, то есть местными ионизационными процессами в дефектах испытуемой изоляции на рабочем напряжении, служит ПВИ, широко используемый во всех системах испытания оборудования от постороннего источника. Этот датчик может быть использован при испытаниях на рабочем напряжении, если объект испытания содержит стандартный измеритель напряжения типа ПИН.

Для других случаев может служить датчик в виде ВЧТТ с заданным коэффициентом трансформации в определенном диапазоне частот $0,15 \leq f_0 \leq 15$ МГц. За время проведения испытаний при внедрении информационной системы на многочисленных энергетических объектах опробовано несколько типов ВЧТТ, изготовленных фирмой «ДИАКС» концерна РосАтомЭнерго РФ. Такие датчики одеваются либо на выход ПИНа, либо на спуск к контуру заземления.

Оптимальным и универсальным датчиком для разработанной информационной системы служит комбинированный датчик, совмещающий свойства измерителя растекания заряда от действия искомого импульса ЧР, ВЧТТ, ПИВ и обладающий повышенной помехозащищенностью и чувствительностью.

В.И. Зубцов, канд. тех. наук

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГЛУБОКОГО ХОЛОДА

Устройство контроля механических напряжений относится к электрическим измерениям неэлектрических величин и может быть использовано при контроле напряженного состояния сплошных сред из нелинейно-упругих материалов (пластмассы, стеклопластики, смолы, бетоны и т.д.) [1...3]. В его основе лежит преобразования механической энергии внутренних напряжений контролируемого материала в энергию электрического сигнала.

На рис. 1 приведена схема устройства контроля механических напряжений. Устройство содержит корпус 1, кольцевой пьезоэлемент 2, цилиндрический пьезоэлемент 3, токовыводы 6, 7, 8 (рис. 1 а), которые подсоединены к контактным площадкам 4, 5 (рис. 1 б – разрез с рис. 1 а), и нижней поверхности цилиндрического пьезоэлемента. К поверхностям кольцевого пьезоэлемента также подсоединены два токовывода (на рис. не показаны).

Цилиндрический пьезоэлемент выполнен монолитным, а на его верхней поверхности выполнены две контактные площадки – кольцевая и в виде круга, изолированные одна от другой диэлектрическим промежутком. Контактные площадки размещены концентрично, причем, наружный диаметр кольцевой площадки равен диа-

метру цилиндрического пьезоэлемента. Радиусы контактных площадок выбраны из соотношения:

$$R_{\text{кольца}}/r_{\text{круга}}=1,50-1,60$$

Выполнение цилиндрического пьезоэлемента монолитным, по принципу пьезотрансформатора, упрощает конструкцию и повышает чувствительность устройства. Выполнение контактных площадок вышеуказанной формы и радиусов также обеспечивает повышение чувствительности, так как контакты для возбуждения и съема выходного сигнала объединены одним пьезоэлементом. Благодаря чему, по принципу суперпозиции волн, результирующая амплитуды упругих механических колебаний в пьезоэлементе равна сумме амплитуд колебаний, образованных обратным пьезоэффектом в результате подвода возбуждающего напряжения к кольцевой контактной площадке и прямым пьезоэффектом в результате действия измеряемых механических напряжений. Выходной сигнал, полученный под действием результирующей (суммарной) амплитуды механических колебаний снимается с контактной площадки в виде круга. Вышеуказанное соотношение радиусов кольцевой контактной площадки и площадки в виде круга получено экспериментальным путем. Причем, электрическое напряжение возбуждения подводится к кольцевой контактной площадке, а выходной сигнал снимается с контактной площадки в виде круга.

Устройство работает следующим образом: в момент изготовления изделия, устройство располагают внутри не затвердевшей среды (пластмассы, стеклопластики, бетона и т.д.).

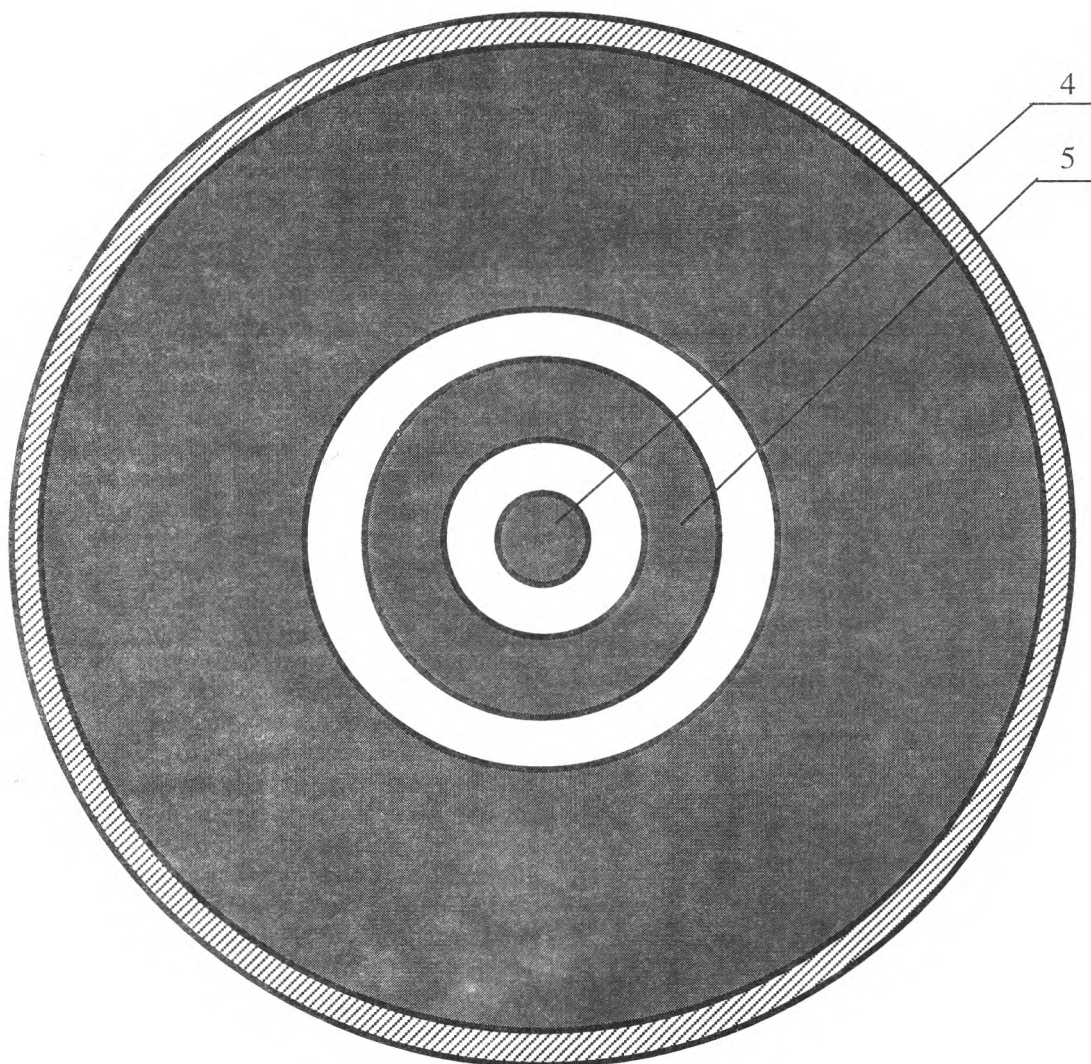
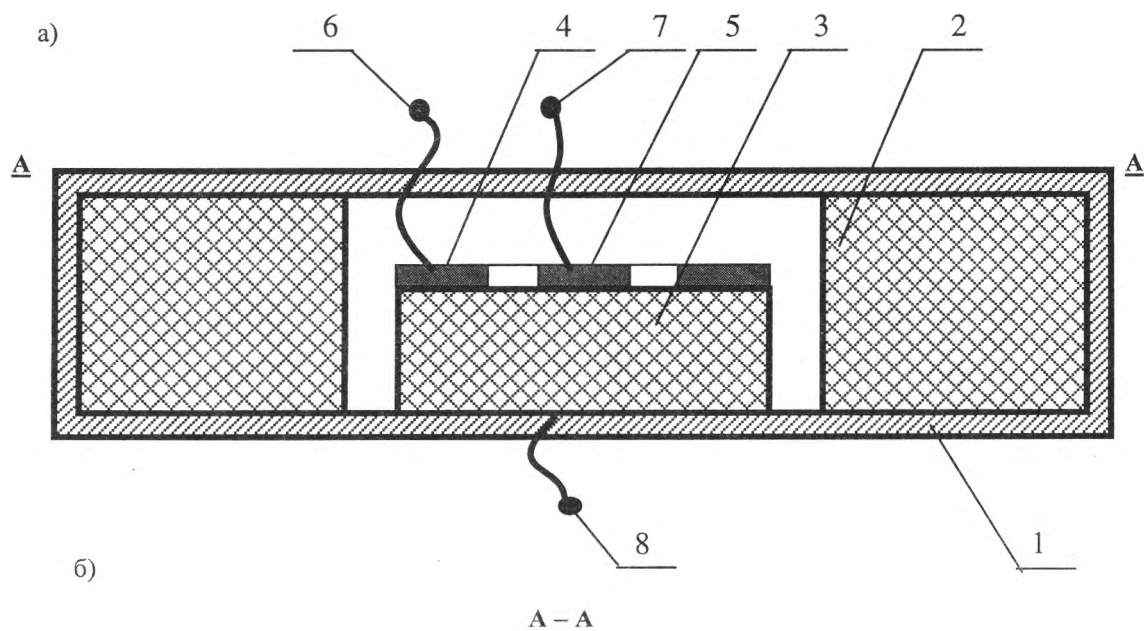


Рис. 1.

При воздействии механических напряжений на корпус 1 устройства кольцевой пьезоэлемент 2 сжимается, колебания пьезоэлемента 3 становятся ограниченными, в результате чего появляется электрический сигнал, пропорциональный этому измеряемому механическому напряжению.

Величина зазора между верхней поверхностью цилиндрического пьезоэлемента и корпуса выбраны из соотношения:

$$\delta_{\text{кол}} - \delta_{\text{цил}} = dVK;$$

где: $\delta_{\text{кол}}$ – толщина кольцевого элемента;

$\delta_{\text{цил}}$ – толщина цилиндрического элемента;

d – пьезоэлектрическая постоянная пьезоматериала;

V – электрическое напряжение;

K – коэффициент формы электрического напряжения.

Причем, V и K принимают значения в зависимости от того, каким электрическим напряжением – аналоговым синусоидальным или импульсным – возбуждается цилиндрический пьезоэлемент.

Так, при возбуждении синусоидальным аналоговым напряжением, V – среднеквадратичное синусоидальное напряжение (шкалы аналоговых вольтметров принято градуировать в значениях среднеквадратичного синусоидального напряжения), а $K=1$, так как измерение прямое, т.е. V считывается непосредственно с вольтметра.

При возбуждении импульсным напряжением, V – амплитудное (максимальное) напряжение (V_m), в значениях которого градуируют шкалы импульсных вольтметров. Коэффициент K принимает значения в зависимости от форм импульсного напряжения и является справочной величиной. В данном случае измерение косвенное, т.к. напряжение, считанное с импульсного вольтметра, умножается на K ($V_m K$). Это объясняется тем, что амплитуда импульса не может быть однозначно определена из-за многообразия форм. Поэтому его принято определять обобщенным амплитудным напряжением, характеризуемым с точки зрения энергии импульса (отношением энергии импульса к количеству его электричества). Это достигается путем введения коэффициента формы импульсного напряжения K .

Таким образом, при возбуждении синусоидальным аналоговым напряжением соотношение для зазора принимает вид:

$$\delta_{\text{кол}} - \delta_{\text{цил}} = dV,$$

где V – среднеквадратичное значение напряжения.

При возбуждении импульсным напряжением –

$$\delta_{\text{кол}} - \delta_{\text{цил}} = dVK;$$

где V – максимальное значение импульсного напряжения; K – коэффициент формы.

Путем подачи постоянного электрического напряжения по токовыводам к кольцевому пьезоэлементу, можно изменять диапазон и точность изменения механических напряжений.

Выполнение контактных площадок форм и в виде круга с соотношением:

$$R_{\text{кольца}}/r_{\text{круга}} = 1,50 - 1,60$$

позволяет получить самое высокое электрическое выходное напряжение ($U_{\text{вых}}$) в зависимости от действующих механических напряжений.

На рис. 2 приведен график зависимости $U_{\text{вых}}$ от величины механического напряжения T (тензочувствительности) для цилиндрического пьезоэлемента из пьезокерамики ЦТС – 19Ø10×1 мм для разных соотношений $R_{\text{кольца}}/r_{\text{круга}}$.

Была проведена экспериментальная проверка способности устройства измерять механические напряжения при действии низких (минус 196 °С) температур. Такие измерения необходимы при установлении температурной зависимости процессов разрушения конструкционных материалов, например, полимерных, для выработки методики применения материалов, используемых в различных изделиях, которые должны работать в условиях глубокого холода и др.

Для исследования выходной характеристики устройства в условиях действия температуры – 196 °С (температура жидкого азота), было изготовлено устройство с чувствительным элементом на основе ниобата лития и по схеме пьезотрансформатора рис. 1.

Для охлаждения устройства была изготовлена камера из пенопласта, в которую после заполнения жидким азотом помещалось устройство. Оно с целью охлаждения выдерживалось в камере 10 минут, затем проводилось нагружение по схеме рис. 3.

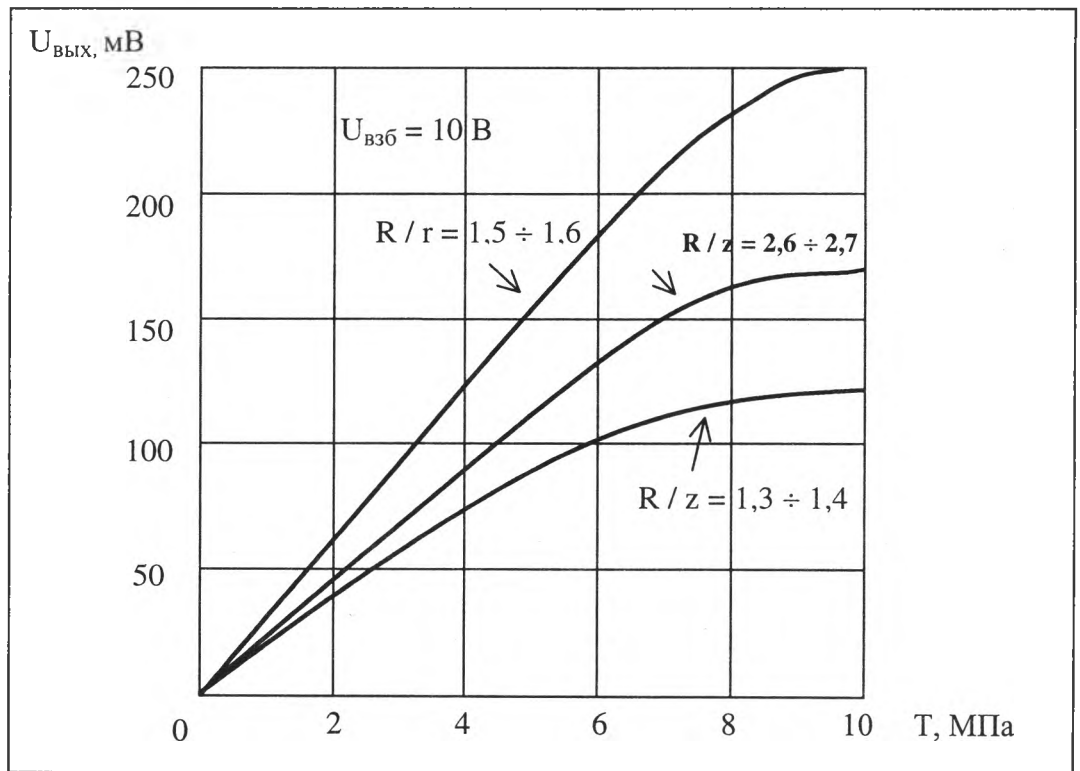


Рис. 2. Тензочувствительность кольцевого пьезоэлемента при различных соотношениях R/r

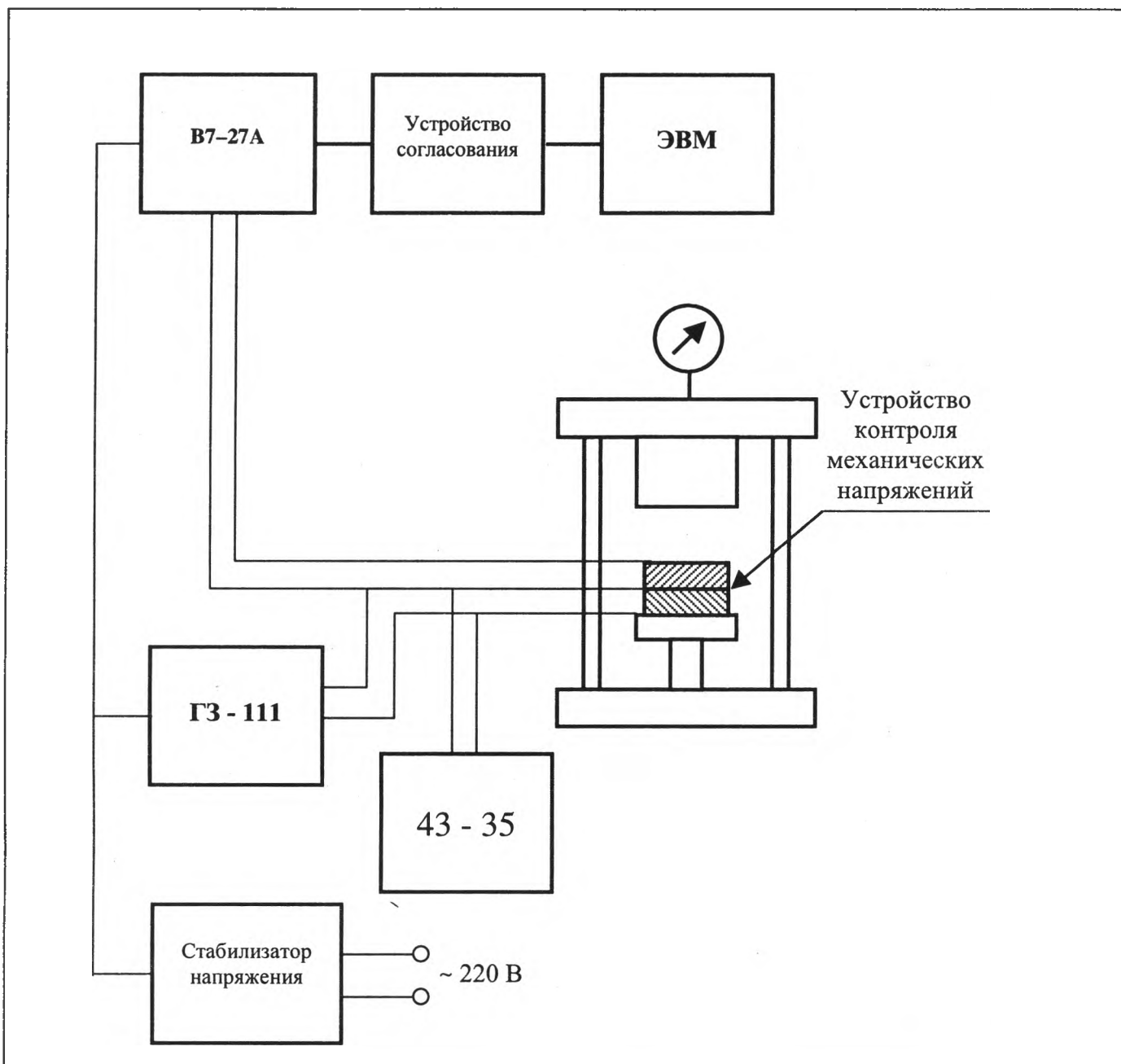


Рис. 3. Схема установки для устройства контроля механических напряжений

Эксперименты проводились при напряжениях 10; 15; 20; 25 В с частотой 2 кГц. Результаты, полученные при охлаждении устройства, и результаты при комнатной температуре приведены на рис. 4. Из рисунка видно, что кривые зависимостей выходного сигнала устройства при $t=+20^{\circ}\text{C}$ и при $t=-196^{\circ}\text{C}$ практически совпадают, из чего следует, что данное устройство может быть использовано при низкотемпературном контроле напряженного состояния.

Таким образом, устройства с чувствительным элементом на основе ниобата лития могут быть использованы как в научных, но и в практических целях, связанных с измерениями механических напряжений в конструкционных материалах и изделиях из них, работающие не только при нормальных температурах, но и в условиях глубокого холода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубцов В.И., Василенко В.С. Методы и средства контроля параметров для описания реологических свойств полимеров: в сб. докл. II междуна. н. к. Ресурсосберегающие и экологически чистые технологии. Гродно, 1996.
2. Функциональный анализ напряженного состояния сплошных нелинейно-упругих сред / В.И. Зубцов, М.М. Юрцевич // Тез. докл. междуна. н. к. Минск, 1996.
3. Устройство для измерения механических напряжений / В.И. Зубцов, М.М. Юрцевич // Оpubл. Б.И. №12, 1997.
4. Елизаров А.С. Электро-радиоизмерения. Минск: В. ш., 1986.
5. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: В. ш., 1986.