

ПЬЕЗОДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ ИЗ ТЕКСТУРЫ НА ОСНОВЕ ТИТАНАТА БАРИЯ И ЭПОКСИДНОГО КОМПАУНДА

Е. В. Жилкина, В. П. Беляцкий

Пьезоэлектрические датчики объемного типа широко применяются при измерении быстроменяющихся давлений. Это объясняется отсутствием у них инерционности, возможностью получения с их помощью количественной и качественной характеристик изучаемой величины и линейностью пьезоэффекта. Как известно [1], $Q = dF$ (Q — величина заряда; F — сжимающая или растягивающая сила; d — пьезоэлектрический модуль). В качестве индикаторов давления ударной волны датчики используются для замеров в воздушной и водной средах, а также для измерения напряжений, возникающих в твердых средах при приложении к ним динамических нагрузок [2, 3].

Интерес, проявляемый к пьезоэлектрическому методу измерения давлений, обуславливает постоянное совершенствование этого метода и техники его осуществления. В первую очередь это относится к важнейшему звену пьезометрических систем — датчикам давления.

По роду применения пьезоэлектрики можно разделить на кристаллические и керамические. К первой группе относятся датчики, выполненные на основе естественных и искусственных пьезоэлектрических кристаллов. Наиболее известны турмалиновый датчик Синани и датчики аналогичных конструкций [4, 5]. К керамическим относят датчики, чувствительные элементы которых изготовлены из пьезокерамики титаната бария, цирконат — титаната свинца (ЦТС) и других твердых растворов. Технология изготовления пьезоэлементов из керамики сводится к прессованию заготовок нужной формы, их отжигу, последующей механической обработке и полирзации. Эта технология позволяет получить пьезоэлементы практически любой формы [6, 7].

Авторами исследованы свойства и проведены испытания сферических пьезодатчиков давления с чувствительными элементами, изготовленными на основе титаната бария и двуокиси циркония. Такая пьезокерамика выпускается промышленностью под маркой Т-4000 (СМ-1). Однако технология изготовления пьезоэлемента отлична от известной. Чувствительный элемент представляет сферический слой пьезотекстуры, образованной смещением массы Т-4000 с эпоксидным компаундом, который в текстуре выполняет роль связующего материала. После полимеризации эпоксидного компаунда текстура сохраняет форму, приданную ей при

изготовлении. Чувствительный элемент I образован пьезотекстурой (рис. 1), которая нанесена равномерным слоем на стальной шарик. Посеребренная внешняя поверхность сферы и шарик внутри нее являются электродами датчика 2 . Электроды датчика соединены с кабелем 4 , их замыкание предотвращает изолятор 3 . Защитное покрытие 5 обеспечивает гидроизоляцию. После сборки чувствительный слой датчика поляризуется в радиальном направлении сильным электрическим полем ($1-2$ кв/мм). Поляризованный поликристаллический титанат бария и родственные ему соедине-

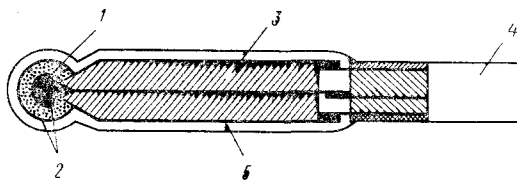


Рис. 1. Схема датчика

ния относятся к средам [7], обладающим симметрией ∞m . Уравнения, связывающие компоненты тензора механических напряжений t с компонентами вектора пьезоэлектрической поляризации I , имеют вид

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= d_{15}t_{31}, \\ I_2 &= d_{15}t_{23}, \\ I_3 &= d_{31}(t_{11} + t_{22}) + d_{33}t_{33}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

если за координатную ось X_3 принята ось симметрии ∞ . В поляризованном поликристаллическом титанате бария этой осью является направление постоянной поляризации. Исследуемая текстура обнаруживает пьезоэффект при всестороннем сжатии. В этом случае все нормальные компоненты напряжения равны между собой ($t_{11}=t_{22}=t_{33}$), а все касательные компоненты равны нулю ($t_{23}=t_{31}=t_{12}=0$), откуда

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= 0, \\ I_2 &= 0, \\ I_3 &= (2d_{31} + d_{33})t_{11}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Для установления влияния электрофизических параметров датчика на полезный сигнал сняты частотные зависимости емкостной и активной составляющих проводимости g и вычислены соответствующие им значения диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ в диапазоне частот $0,5-10$ Мгц

$$\text{tg } \delta = \frac{1}{\omega r C}, \quad (3)$$

где ω — угловая частота; r — активное сопротивление; C — емкость датчика.

Измерения проводились с датчиками D_1-D_3 , имевшими различное содержание титаната бария в текстуре (83, 80 и 75 вес. %). Характер полученных зависимостей одинаков и не зависит от процентного содержания BaTiO_3 . Абсолютные же значения электрофизических параметров

естественно различны. Как показал эксперимент (рис. 2), электрофизические параметры мало изменяются до частот в несколько мегагерц и никаких помех в измерительный тракт вносить не могут. Величина диэлектрических потерь минимальна. При значениях частоты f свыше 5 мГц наблюдается явная зависимость параметров от частоты, что обусловлено, по-видимому, явлением резонанса.

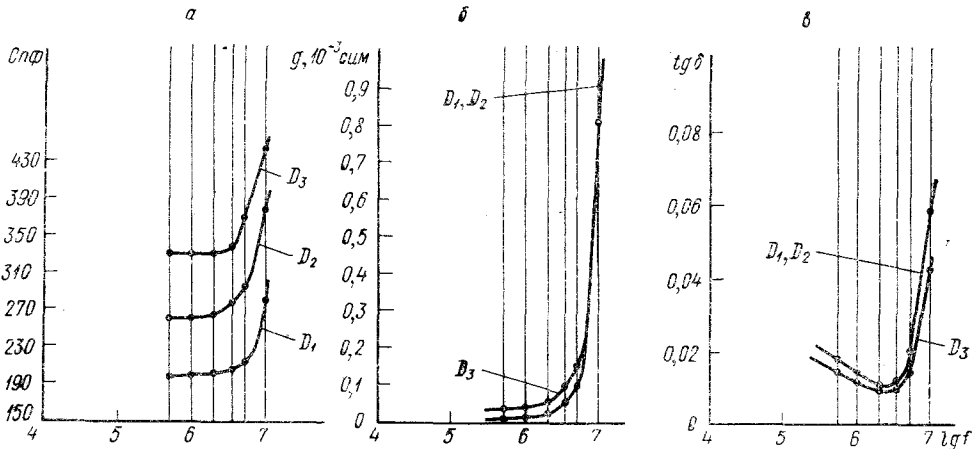


Рис. 2. Частотные зависимости для датчиков с содержанием титаната бария 83 вес. % :
 а — емкости; б — активной проводимости; в — тангенса угла диэлектрических потерь

Датчики испытывались в рабочих условиях при взрывании сферических зарядов тэна в воде. Заряды изготавливались одинаковыми по весу (680 мг) и диаметру (10 мм). Помещая датчик в какую-либо точку водной среды и зная величину давления в этой точке, можно определить искомую величину чувствительности. Давление на фронте ударной волны, распространяющейся в водной среде, изменяется с расстоянием от центра сферического заряда по известному закону и величина этого давления определена для широкого диапазона расстояний. Типичные осциллограммы ударной волны приведены на рис. 3. Расшифровку осциллограмм с целью определения чувствительности датчиков проводили в соответствии с принятой методикой измерения:

$$r_d = \frac{C_m V_k}{P} \cdot \frac{l_c}{l_k},$$

где r_d — чувствительность датчика, $e \cdot нф \cdot см^2 / кг$; C_m — масштабная емкость на входе регистрирующей аппаратуры, $нф$; V_k — амплитуда напряжения калиброванного импульса, e ; P — давление на фронте ударной волны, $кг/см^2$, l_c , l_k — амплитуды сигнала и калиброванного импульса на экране осциллографа, $мм$.

На первом этапе определяли чувствительность датчиков и ее стабильность при постоянном давлении. Для этого датчики располагали на постоянном расстоянии от заряда, равном 50 радиусам заряда R_0 , что соответствовало давлению на фронте ударной волны $175 кг/см^2$. Каждый датчик подвергали испытаниям не менее пяти раз. В результате были получены средние значения чувствительности и относительные величины ее среднего и максимального разброса, равные соответственно 4,5 и 6%. Такой разброс допустим при измерении давлений ударной волны. Датчики

с диаметрами центральных электродов 4,8—5,2 мм и толщиной сферического текстурного слоя 0,7—0,8 мм имели среднюю чувствительность Γ_d от 1 до 10 $\text{в} \cdot \text{пф} \cdot \text{см}^2/\text{кг}$ при изменении соотношения массы Т-4000 к связующему компаунду от 3:1 до 7:1 (по весу).

Второй серией испытаний проверяли постоянство величины чувствительности в диапазоне давления 100—225 $\text{кг}/\text{см}^2$, что соответствует расположению датчиков на расстоянии 30—80 R_0 от заряда. В этом диапазоне

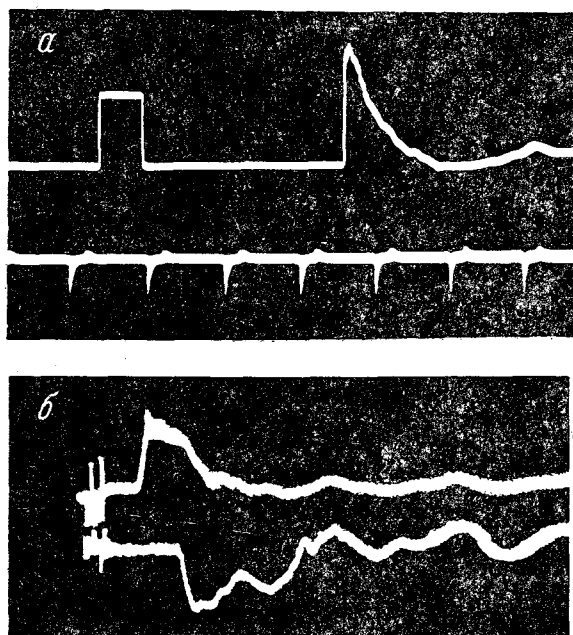


Рис. 3. Осциллограммы давления, записанные сферическими датчиками при взрыве:
a — подводном; *b* — шпурового заряда в гранитном блоке
 (запись методом преломленной волны)

давлений не наблюдалось определенной зависимости чувствительности от давления. Разброс носил случайный характер и относительная величина его максимального значения не превышала 6%. В течение года работы чувствительность датчиков не снизилась.

Выводы

1. Сферические датчики из текстуры на основе титаната бария и эпоксидного компаунда обеспечивают такое же качество записи формы ударной волны, как и турмалиновые, а по абсолютной величине чувствительности могут их превосходить.
2. Технология изготовления датчиков из текстуры значительно проще технологии изготовления датчиков из кристаллов и пьезокерамики.
3. Зная зависимость чувствительности текстуры от содержания в ней титаната бария, можно изготавливать датчики с заданной чувствительностью.
4. Исследуемые датчики обладают хорошими частотными свойствами и стабильной величиной чувствительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Желудев И. С. Электрические кристаллы. Наука, 1969.
2. Ханукаев А. Н. Энергия волн напряжений при разрушении пород взрывом. Госгортехиздат, 1962.
3. Ханукаев А. Н. и др. Об условиях применения пьезоэлектрических методов измерения параметров ударных волн и напряжений. Тезисы докл. на научн. конф. вузов СССР по физике горных пород и процессов 18—21 марта 1969 г. МГИ, 1969.
4. Синани И. Б. Турмалиновые индикаторы ударных волн в жидкостях. Приборы и техника эксперимента, 1957, № 4.
5. Нестерихин Ю. И., Солоухин Р. И. Методы скоростных измерений в газодинамике и физике плазмы. Наука, 1967.
6. Глазман И. А. Пьезокерамика. Энергия, 1967.
7. Шубников А. В. и др. Исследование пьезоэлектрических текстур. АН СССР, 1955.