

**ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРИЕМО-ПЕРЕДАЮЩИХ АНТЕНН НА ОСНОВЕ
ПЬЕЗОКОМПОЗИТОВ**

А.И.МАМЕДОВ

*Институт физики НАН Азербайджана
AZ 1143, г.Баку, пр.Г.Джавида, 33*

Варьируя объемным содержанием, структурой, характеристиками компонентов (полимера и пьезокерамики), электрофизическими и механическими свойствами, условиями поляризации, конструкцией и характеристиками герметики разработаны и созданы пьезокомпозитные приемо-передающие антенны для исследования морского дна и шельфа, превосходящие по многим показателям, аналогичные антенны на основе пьезокерамики.

Известно, что за последнее время сфера практического применения пьезоэлектрических материалов как незаменимых элементов различных приборов стала быстро расширяться[1-5]. Разнообразие областей применения различных приборов и их эксплуатация потребовали создания высокочувствительных пьезоэлектрических и электромеханических преобразователей различных размеров и геометрических форм с заранее заданными физико-механическими, физико-химическими и пьезоэлектрическими характеристиками. Указанные свойства, которыми должен обладать пьезоэлемент, являются необходимыми для создания гидроакустических приемо-передающих антенн различных назначений.

Существующие ныне преобразователи из керамических материалов типа ЦТС, несмотря на хорошие пьезоэлектрические характеристики, во многих случаях не могут быть использованы вследствие механической хрупкости, отсутствия гибкости и большой диэлектрической проницаемости. Поэтому в тех случаях, когда требуются высокочувствительные преобразователи большой площади (кабель и цилиндр большого диаметра), использование керамических материалов практически невозможно.

Другим типом диэлектриков, у которых наблюдается пьезоэлектрический эффект – это полимерные материалы. Самым распространенным пьезоэлектрическим полимерным материалом является поливинилиденфторид ПВДФ[6].

Сравнением пьезоэлектрических постоянных и диэлектрической проницаемости ПВДФ с соответствующими параметрами керамических материалов можно сделать вывод о том, что в тех приборах, где требуется высокая чувствительность ПВДФ более пригоден, чем керамические материалы. Наряду с этими преимуществами полимерные материалы имеют ряд недостатков: во-первых, ПВДФ существует в трех кристаллических фазах, одна из которых, β - фаза обладает спонтанной поляризацией. Получение β - фазы происходит путем ориентационной вытяжки и очень чувствительно к технологическим условиям (температурный режим, скорость вытяжки и т.д.); во-вторых, ПВДФ как и все полимерные материалы работает на растяжение, тогда как в

большинстве случаев пьезодатчики, в частности приемо-передающая антенна, работают на сжатие.

Указанные недостатки керамических и полимерных материалов не позволяют создавать приборы, удовлетворяющие определенным требованиям. Поэтому в последнее время разрабатываются композитные материалы, которые сочетают в себе свойства керамических и полимерных материалов. Использование керамики в качестве наполнителя, повышает диэлектрическую проницаемость, пьезомодуль, коэффициент электромеханической связи K , механическую добротность Q_m и пьезочувствительность композита полимер – пьезокерамика; а применение полимера в качестве матрицы придает композиту гибкость, прочность и возможность изготовления тонких пьезоэлементов, однородных по пьезоэлектрическим свойствам на больших площадях. В данной статье рассматриваются физико-технологические особенности создания гидроакустических приемо-передающих антенн на основе пьезокомпозитов. Варьируя объемным содержанием, структурой, характеристиками компонентов (полимера и пьезокерамики), электрофизическими и механическими свойствами, условиями поляризации, конструкцией и характеристиками герметики разработаны и созданы пьезокомпозитные приемо-передающие антенны для исследования морского дна и шельфа, превосходящие по многим показателям, аналогичные антенны на основе пьезокерамики.

Исследованы возможности создания акустической антенны на основе полимерных композитов со следующими техническими характеристиками:

- акустическая мощность излучения: а) 0,5квт; б) 2квт; в) 10квт;
- чувствительность в режиме приема – 200÷1000мкВ/Па;
- рабочий диапазон частот: а) (50÷200)кГц, б) (1÷20)кГц;
- напряжение возбуждения $U = 500В$;
- рабочая температур $+2^{\circ}C \div +45^{\circ}C$.

Учитывая тот факт, что пьезокомпозитная приемо-передающая гидроакустическая антенна в режиме излучения работает при одновременном воздействии электрического поля и статического давления, механические прочностные свойства пьезокомпозитов определены при приложении электрического поля [7]. Как и в случае определения механических прочностных свойств, электрическая прочность и время жизни пьезокомпозитов определены при одновременном приложении статического механического напряжения σ . Определение модуля Юнга композитов при одноосном сжатии проведено с использованием прибора ПТВ-1-ПЖ (прибор для испытания пластмасс на теплостойкость). Испытанию подвергались цилиндрические образцы композитов размерами: $h = 8мм$, $d = 5мм$.

Для создания эффективных пьезокомпозитных элементов для гидроакустических антенн на основе композитов нами были использованы в качестве матрицы полимерные материалы полиолефинового ряда (ПЭВП, ПП, ПЭНП) и фторсодержащий полимер (ПВДФ), а в качестве наполнителя - пьезокерамики семейства цирконата – титаната – свинца (ЦТС) типа ПКР.

В Таблице 1 представлены максимальные значения пьезоэлектрических коэффициентов пьезокомпозитов на основе полиолефинов (ПЭВП, ПЭНП и ПП) и пьезокерамики ромбоэдрической структуры ПКР-3М.

Таблица 1.

Максимальные значения пьезоэлектрических коэффициентов пьезокомпозиций.

Пьезокомпозиция Пьезоэлектрические коэффициенты	ПЭВП+ПКР-3М	ПЭНП+ПКР-3М	ПП+ПКР-3М
d_{33} , пКл/Н	55	92	86
g_{33} , мВ/Н	0,2	0,33	0,30

Видно, что d_{33} и g_{33} пьезокомпозиций из полиэтилена низкой плотности или пропилена заметно больше, чем d_{33} и g_{33} пьезокомпозиции при использовании в качестве матриц полиэтилена высокой плотности.

В Таблице 2 приведены значения пьезоэлектрических параметров пьезокомпозиций ПВДФ+ПКР-3М и ПВДФ+ПКР-5, поляризованных при оптимальных условиях поляризации ($E_n=3\text{мВ/м}$, и $T_n=413\text{К}$). Видно, что пьезокомпозиция ПВДФ+ПКР-3М является высокоэффективным пьезоматериалом для создания гидроакустических антенн.

Таблица 2.

Значения пьезоэлектрических параметров пьезокомпозиций.

Пьезокомпозиция	d_{33} , пКл/Н	g_{33} , Вм/Н
ПВДФ + 50% об. ПКР-3М	150	0,4
ПВДФ + 50% об. ПКР-5	75	0,22
ПВДФ + 60% об. ПКР-5	92	0,18

Необходимо отметить, что механические прочностные свойства композиций как при $E=0$, так и при $E \neq 0$ заметно отличаются (Таблица 3). Этот результат является весьма важным при выборе режимов эксплуатации акустических антенн.

Таблица 3.

Механические свойства композиций.

Композиции	Механическая прочность при $\tau = 1\text{с}$ σ , МПа	
	$E=0$	$E=3,2 \times 10^7 \text{В/М}$
ПП+40% ПКР-3М	18	15
ПВДФ+40% ПКР3М	26	20

Эффект снижения механической прочности под действием сильного электрического поля в случае композиций на основе ПВДФ больше (Таблица 3). Таким образом, анализ механической прочности композиций на основе ПП и ПВДФ показывает, что композиции с ПВДФ матрицей более эффективны для создания акустических антенн.

На Рис.1 приведена зависимость логарифма времени жизни композиций на основе ПП, ПВДФ и ПКР-3М. Там же приведена

зависимость $\lg \tau_E = f(E)$ при одновременном воздействии механического напряжения (σ). Эксперименты показали, что при постоянной температуре наличие постоянно действующей механической нагрузки (σ) приводит к уменьшению времени жизни и, следовательно, электрической прочности (зависимости 3 и 4).

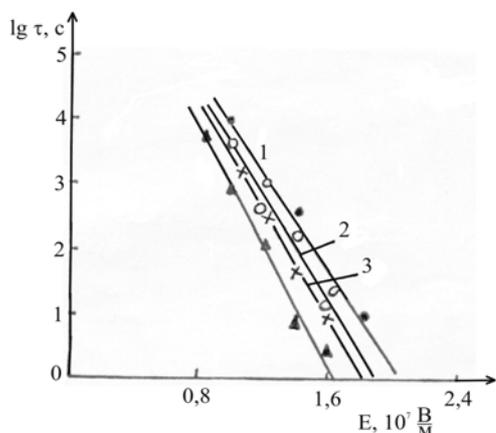


Рис.1.

Зависимость $\lg \tau_E = f(E)$ композитов ПВДФ+50% обПКР-3М и ПП+50% об. ПКР-3М при $T=293\text{K}$. 1-ПВДФ+50% ПКР-3М, $\sigma=0$; 2-ПП+50% об.ПКР-3М, $\sigma=0$; 3-ПВДФ+50% обПКР-3М, $\sigma=15\text{Мпа}$; 4-ПП+50% обПКР-3М, $\sigma=15\text{МПа}$.

Диапазон рабочих температур электрофизических ($\epsilon, tg\delta, d_{33}$) и механических параметров композитов приведены в Таблицах 4 и 5.

Таблица 4.

Зависимость электрофизических ($\epsilon, tg\delta, d_{33}$) и механических параметров пьезокомпозита ПВДФ+ПКР-3М от температуры.

Темп. T, K	233	253	273	293	313	333	353	373	393
Пара- метры									
$d_{33}, \text{пКл/Н}$	190	190	190	189	186	185	175	140	160
ϵ	170	170	170	170	170	175	180	200	240
$tg\delta$	0,018	0,018	0,018	0,019	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Модуль Юнга, Н/м $\Upsilon 11 \times 10^{-10}$	0,99	0,98	0,98	0,98	0,96	0,92	0,88	0,75	0,5

Как видно, d_{33} композита с ПКР-3М на 30÷50% превышает значение d_{33} композита с ПКР-7М. В температурном интервале 233 ÷ 393K d_{33} композитов несколько снижается с ростом температуры. Наряду с этим наблюдается слабо выраженный рост ϵ и $tg\delta$. Модуль Юнга слабо зависит от температуры до 353K, а выше этой температуры в интервале 373°÷393K наблюдается его уменьшение

Необходимой частью любой подводной поисковой системы является электроакустическая станция с трактами излучения и приема звуковых волн. Поэтому разработанные пьезоэлементы должны удовлетворять требованиям, предъявляемым как к приемникам волн, так и излучателям акустических возмущений. В данной работе рассматривается конструкция одного из наиболее распространенных пьезоэлектрических преобразователей, которым является цилиндрический преобразователь силовой конструкции. Активный элемент этого преобразователя состоит из совокупности простейших пьезоэлементов,

соединенных друг с другом с помощью клея. Антенна собрана из 18 преобразователей (Рис.2).

Таблица 5.

Зависимость электрофизических и механических параметров пьезокомпозиата ПВДФ+ПКР7М от температуры.

Темп. T, K	233	253	273	293	313	333	353	373	393
Пара- метры									
$d_{33}, \text{пКл/н}$	150	150	150	150	147	140	130	110	95
ϵ	194	194	194	193	195	197	203	220	255
$tg \delta$	0,02	0,02	0,02	0,02	0,022	0,025	0,031	0,045	0,065
Модуль Юнга, Н/м									
$Y_{11} \times 10^{-10}$	1,1	1,1	1,15	1,2	1,25	1,1	1,0	0,9	0,7

Крепление активного элемента к корпусу осуществляется с помощью эластичных прослоек из полимерных или металлических материалов. Электроизоляция активного элемента преобразователя обеспечивается слоями твердых электроизоляционных материалов, расположенных между активным элементом и корпусом преобразователя.

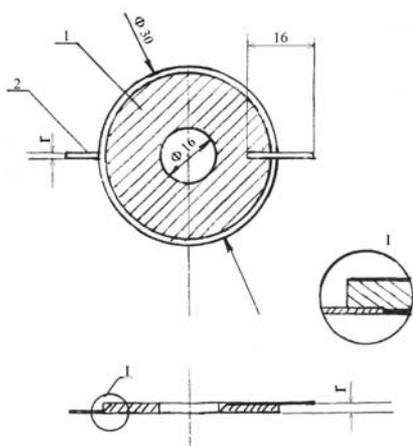


Рис.2.

Пьезокомпозиитный элемент; 1-электрод, 2-выводы от электродов.

Таким образом, акустическая мощность одного преобразователя из разработанных композитов равна (100-300) Вт, допустимые напряжения возбуждения этой мощности изменяются в пределе от 300 до 1000В. Чувствительность антенны из разработанных нами композитов оценивалась в пределе от 500 до 1000мВ/Па. Определены оптимальные составы заливочного компаунда и исследовано влияние различных свойств компаунда на характеристики антенны. Разработанные антенны испытывались на предприятии п/я В-2962. Достигнутые параметры для гидроакустических антенн являются первичными результатами, которые могут быть основой для дальнейшей разработки более эффективных пьезокомпозиитных приемо-передающих антенн различных назначений. Таким образом, для повышения эффективности пьезокомпозиитных антенн требуется:

1. Повысить модуль Юнга пьезокомпозиита путем увеличения объемного содержания пьезочастицы или использовать более жесткую полимерную матрицу.

2. Получить пьезокомпозиитные элементы различной механической добротности, исследовать влияние ее и конструкции на свойства антенны.

3. Улучшить перераспределение напряжения по компонентам композита в режиме обратного пьезоэффекта.

4. По возможности увеличивать электрическую прочность пьезокомпозитных элементов с целью повышения амплитуды приложенного напряжения U в режиме обратного пьезоэлектрического эффекта. Увеличение амплитуды U способствует увеличению величины излучаемой мощности антенны.

5. Более эффективно использовать положительное качество пьезокомпозитов в режиме приема звуковых волн, так как пьезокомпозиты превосходят пьезокерамику по пьезочувствительности, как минимум ,на один порядок.

1. С.В.Гавриляченко, *Сегнетоэлектрические твердые растворы многокомпонентных систем сложных оксидов с высокостабильными частотными характеристиками, автореф. диссер. канд. физ. - мат. наук, Ростовский Государ. Университет, (1990).*
2. И.Ю.Гончарова, *Акуст. Вестник, 3 №2 (2000) 19.*
3. А.Я.Данцигер, *Сегнетоэлектрические твердые растворы многокомпонентных систем сложных оксидов и высокоэффективные пьезокерамические материалы на их основе, автореф. диссер. докт. физ.-мат.наук, Ростовский Государ. Университет, (1985).*
4. Р.Г.Джагулов, А.М.Борисюк, *Сб. трудов конференции "Пьезотехника – 95", Ростов-на-Дону, (1995) 5.*
5. Г.А.Лущейкин, В.М.Петров, *Актуальные проблемы получения и применения сегнето- и пьезоэлектрических материалов, Тезисы докладов 1-ой Всес.конф. Москва, 12-14 ноября, (1981) 53.*
6. Г.А.Лущейкин, *Полимерные электреты, М.: Химия, (1984) 184.*
7. А.И.Мамедов, М.А.Курбанов, М.Г.Шахтахтинский и др., *Физико-механические свойства полимеров и композитов на их основе. Препринт №1,Баку, (1988) 34.*

PYEZOKOMPOZİTLƏR ƏSASINDA HİDROAKUSTİK QƏBULEDİCİ-ÖTÜRÜCÜ ANTENNALARIN HAZIRLANMASININ FİZİKİ-TEKNOLOGİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Ə.İ.MƏMMƏDOV

Нәсмi,tərkibini,strukturunu, komponentlərini xarakteristikalarını(polimer və pyezokeramikin), elektrofiziki və mexaniki xassələrini,polyarlaşdırma şəraitini, konstruksiyasını, hermetiklik xarakteristikalarını dəyişərək, dəniz dibinin və şelfin tədqiqi üçün pyezokeramik əsasında analoji antenنالardan çox parametrlərinə görə üstün olan qəbuledici-ötürücü antenنالار işlənilib hazırlanmış və yaradılmışdır.

PHYSICOTECHNOLOGICAL FEATURES OF CREATING THE HYDROACOUSTIC TRANSMITTER-RECEIVING ANTENNAS ON THE BASIS OF PIEZOCOMPOZITS

A.I.MAMMADOV

Varying with the content volume,structure,features of the components (polymer and piezoceramics),electrophysical and mechanic features,polarization conditions,construction and features of the sealant,the piezocomposite transmitter-receiving antennas had been worked out for the research of the sea floor and shelf, exelling the analogue antenna by many factors on the basis of piezoceramics.

Редактор: Г.Аждаров