

ДРОНОВ Алексей Николаевич

На правах рукописи

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ
ПРИМЕНЕНИЯ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНО-
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.11.14 – Технология приборостроения

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Москва 2005

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор САГАТЕЛЯН Г.Р.

Официальные оппоненты: д.т.н., профессор Назаров Ю.Ф.

к.т.н. Леушин В.Ю.

Ведущее предприятие – ОАО «ЭЛМА»

Защита диссертации состоится “ 2 ” июня 2005 г. на заседании диссертационного совета Д 212.141.18 Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5. Ваш отзыв, заверенный печатью, просим высылать по указанному адресу. Телефон для справок: 267-0963.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан “ 29 ” апреля 2005 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

канд. техн. наук, доцент



Цветков В.А.

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1715920

Дронов А. Н. Технологическо

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В современном приборостроении широкое распространение получили изделия на основе пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП). В настоящее время объемы выпуска таких изделий стабильно возрастают. Одновременно улучшаются эксплуатационные характеристики изделий на основе ПЭП: снижается мертвая зона (МЗ), уменьшаются шумы, возрастает разрешающая способность (РС), увеличивается мощность излучения ПЭП непрерывного действия при снижении мощности излучения ПЭП, работающих в импульсном режиме.

Основными областями применения изделий на основе ПЭП являются ультразвуковая очистка (ПЭП непрерывного излучения), ультразвуковая дефектоскопия как разновидность неразрушающего контроля (импульсные ПЭП), а также диагностика (импульсные ПЭП) и терапия (ПЭП непрерывного излучения) в современной медицине. Если в области ультразвуковой дефектоскопии металлов имеется существенный научный задел, то разработке конструкций и технологии изготовления ПЭП для неразрушающего контроля (НК) композиционных материалов, ультразвуковой очистки сложнопрофильных полостей, а также ПЭП для медицинской техники уделяется значительно меньше внимания.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускаются зонды для одномерной ультразвуковой диагностики, а также ультразвуковые излучатели непрерывного воздействия.

Конструкции и технологические процессы производства этих изделий требуют существенных изменений. В частности, конструкции ультразвуковых зондов импульсного излучения (НК композиционных материалов, медицинская диагностика) должны быть изменены на основе применения новых материалов с обеспечением повышения эксплуатационных характеристик зондов.

Конструкции ультразвуковых излучателей непрерывного действия (ультразвуковая очистка сложнопрофильных полостей, терапия) должны предусматривать возможность варьирования параметрами поля воздействия ультразвука на обрабатываемую поверхность или на биоткань. В частности имеется насущная потребность в технологических и терапевтических излучателях матричной конструкции.

Цель работы. Повышение показателей качества пьезоэлектрических преобразователей путем совершенствования технологических процессов изготовления и сборки элементов конструкций, включающих разрабатываемые функционально композиционные материалы.

Научная новизна. Установлена взаимосвязь между основными эксплуатационными характеристиками, обеспечиваемыми пьезоэлектрическими преобразователями (мертвая зона, разрешающая способность, динамический диапазон, мощность излучения) и технологическими процессами

МГТУ

ИМ. П. П. БАУМАНА

БИБЛИОТЕКА

получения функционально-композиционных материалов, изготовления и сборки из них элементов пьезоэлектрических преобразователей на основе разработки математической модели работы пьезоэлектрического преобразователя, включающей конструктивно-технологические параметры элементов ПЭП, изготавливаемых с применением разрабатываемых функционально-композиционных материалов.

Основные результаты работы. Разработана математическая модель ультразвуковых датчиков, позволяющая определять требуемые физико-механические (акустические) свойства элементов, изготовленных из функционально композиционных материалов. Определены зависимости эксплуатационных характеристик ультразвуковых устройств от конструктивно-технологических особенностей элементов пьезоэлектрических преобразователей.

Разработана методика определения параметров пьезоэлектрических преобразователей (мертвая зона, динамический диапазон, разрешающая способность) по конструктивно-технологическим характеристикам элементов ПЭП.

Практическая ценность. Созданы конструкции пьезоэлектрического преобразователя диагностического зонда, а также ультразвукового терапевтического зонда матричной конструкции. Данные преобразователи обладают повышенными показателями качества (малой мертвой зоной и высокой разрешающей способностью). Создан пакет прикладных программ для расчета параметров ультразвукового преобразователя, основанный на использовании электромеханических аналогий при определении передаточной функции зонда с учетом затухания ультразвука в конструктивных элементах ПЭП.

Реализация работы. На основе результатов работы разработаны и внедрены в производство технологические процессы изготовления диагностических и терапевтических ультразвуковых преобразователей в ОАО "Завод ЭМА", технологических ультразвуковых излучателей и датчиков контроля композиционных материалов на ФГУП "НПО "Техномаш". Созданные лабораторные установки для определения характеристик разрабатываемых материалов используются в учебном процессе в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Апробация работы. Материалы работы доложены: на 4-ой научно-технической конференции «Медико-технические технологии на страже здоровья «МЕДТЕХ-2002» (Турция, Анталия, 2002 г.); Всероссийской научно-технической конференции «Новые материалы и технологии» НМТ-2004 (Москва, МАТИ, 2004 г.).

Диссертация обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Технология приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Москва 2004 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликованы четыре работы, получено положительное решение о выдаче патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 114 наименований, и приложения. Работа содержит 124 страницы машинописного текста, 53 рисунка, 8 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность темы, сформулированы цель работы и ее научная новизна, изложены основные результаты исследований.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Приведен анализ существующих конструкций ПЭП для импульсного излучения ультразвука (диагностические зонды), а также ПЭП непрерывного действия на примере ультразвуковых терапевтических излучателей. Конструкция прямых совмещенных преобразователей предусматривает наличие нескольких обязательных элементов: пьезоэлемента, демпфера, согласующих слоев (протектора) и корпуса. Поэтому технологические процессы изготовления рассматриваемых разновидностей ПЭП включают в себя технологию изготовления каждого элемента и их соединения между собой (сборки ПЭП).

В работах Н.П. Алешина, И.Н. Ермолова, а также зарубежных исследователей Д. Коссофа, Ф. Муна, Б. Титтмона, Г. Квана и других показано, что для изготовления конструктивных элементов ПЭП необходимо использовать композиционные материалы. Композиционные материалы, используемые в конструкциях ПЭП, будем называть функционально-композиционными материалами (ФКМ) в отличие от композиционных материалов (КМ) как объекта контроля с применением разрабатываемых датчиков – ПЭП.

Исходными требованиями, предъявляемыми к ФКМ, являются: 1) возможность акустического согласования с применяемыми конструкционными материалами за счет создания требуемого акустического импеданса применяемого ФКМ; 2) максимальные звукогасящие свойства (за исключением согласующих слоев) для диапазона частот $f = 0,88 - 1,72$ МГц, характерного для рассматриваемого класса ПЭП.

При этом следует разработать технологию формирования композиционных материалов, обладающих градиентностью свойств - градиентных композиционных материалов. В частности, демпфер ПЭП, изготовленный из такого материала, у стороны, обращенной к пьезокерамической пластине, должен обладать акустическим импедансом, близким к акустическому импедансу пьезокерамики, а у противоположной стороны - обеспечивать максимальное затухание ультразвука и обладать акустическим импедансом, близким к акустическому импедансу сочленяемого с демпфером эле-

мента конструкции ПЭП. Из градиентного ФКМ следует изготавливать и «акустическую ловушку» призматических ультразвуковых датчиков. Нескольких согласующих слоев заменяются единственным согласующим слоем, выполненным из градиентного ФКМ.

Влияние конструктивных параметров элементов ПЭП на их эксплуатационные характеристики исследовано в целом ряде работ. Наиболее полезным и эффективным направлением исследований в этой области представляется аналитическое получение временной развертки сигнала ПЭП, которая позволяет, в принципе, оценивать и мертвую зону, и разрешающую способность датчика. Основополагающими в данном направлении являются работы С. Ван Кервела и Д. Тиджссена, базирующиеся на применении четырехполосников как электрического аналога элементов ПЭП, подсоединяемых к электрическому аналогу (схеме замещения) пьезокерамической пластины.

Общим недостатком имеющихся в настоящее время работ по математическому моделированию ПЭП является то, что модели ПЭП не учитывают факта затухания ультразвука в конструктивных элементах ПЭП. Все исследователи до настоящего времени принимают, что ультразвуковая волна, переходящая в демпфер, более к пьезокерамической пластине не возвращается, что, вообще говоря, неочевидно, поскольку не основывается на структурных свойствах материала демпфера и его геометрических размерах. За рамками рассмотрения остается объект, в который при помощи моделируемого ПЭП производится излучение ультразвуковой волны. Все это указывает на необходимость существенного усовершенствования самой математической модели (электрической схемы замещения) ПЭП с целью определения требуемых свойств ФКМ (в частности коэффициента затухания ультразвука), причем требуемая степень усовершенствования настолько велика, что полученную в итоге модель можно считать новой.

На основе результатов анализа существующих конструкций ультразвуковых технологических и терапевтических преобразователей, датчиков ультразвукового контроля и диагностических зондов, а также применяемых в настоящее время технологических процессов изготовления конструктивных элементов и сборки этих изделий, для достижения поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) изделий ультразвуковой техники рассматриваемого класса.
- на основе разработанной математической модели определить требуемые физико-механические (акустические) свойства, подлежащих разработке функционально-композиционных материалов.
- создать аппаратуру (лабораторные стенды) для получения характеристик разрабатываемых функционально-композиционных материалов,

определяющих их акустические свойства (скорость звука в материале, коэффициент поглощения ультразвука, акустический импеданс и др.).

- предложить составы и способы получения функционально-композиционных материалов для применения в составе пьезоэлектрических преобразователей, а также разработать способы изготовления и сборки из этих материалов элементов ПЭП.

- разработать конструкции изделий ультразвуковой техники для технологических применений и медицины, в состав которых входят элементы из созданных функционально-композиционных материалов, а также технологические процессы производства этих изделий с изготовлением опытных образцов.

Глава 2. АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Технологическое обеспечение качества ПЭП рассматривали на примере конструкции одномерного диагностического УЗ-зонда (рис.1).

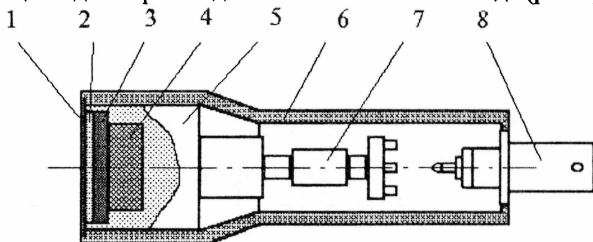


Рис. 1. Конструкция ультразвукового зонда для одномерной эхо - энцефалографии: 1 - второй согласующий слой; 2 - первый согласующий слой; 3 - пьезокерамическая пластина; 4 - демпфер; 5 - втулка акустической развязки; 6 - металлический корпус; 7 - согласующий трансформатор; 8 - высокочастотный разъем

Для аналитического описания работы рассматриваемого УЗ-зонда разработана математическая модель, основанная на использовании метода электромеханических аналогий при расчете передаточной функции. Модель представляет собой последовательно - параллельное соединение ряда четырехполосников (рис. 2).

Четырехполосники символизируют линии передачи, в которых распространяется совокупность волн в прямом и обратном направлениях. Отличительной особенностью данной модели является то, что в ней учитывается факт затухания ультразвука в конструктивных элементах ПЭП, что не рассматривалось в предыдущих работах по математическому моделированию.

Расчетная схема модели зонда укрупнено суммирующая ход и результаты расчета, содержит электрическую часть и две передаточные матрицы, представляющие соответственно: демпфирование плюс заднюю часть пьезоэлектрического преобразователя.

зокерамической пластины и переднюю часть пьезокерамической пластины плюс фронтальную нагрузку. Каждая из этих матриц содержит коэффициенты соответствующих четырехполосников, описывающих проводящие линии, которые, в свою очередь, являются электромеханическими аналогами стержней, вдоль которых распространяются упругие волны. Например, передаточная матрица, четвертьволнового слоя пьезокерамической пластины имеет следующий вид:

$$N_s = \begin{pmatrix} \cosh \gamma l & -Z_c \sinh \gamma l \\ -\frac{1}{Z_c} \sinh \gamma l & \cosh \gamma l \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где Z_c – акустический импеданс материала пьезокерамической пластины;

γ – постоянная распространения;

l – длина проводящей линии, равная толщине слоя (для пьезокерамической пластины – четвертьволновой, т.е. половине толщины пластины).

Коэффициент γ – это комплексное число, и потому его можно представить в таком виде:

$$\gamma = j\alpha, \quad (2)$$

где α – коэффициент затухания ультразвука в данном материале.

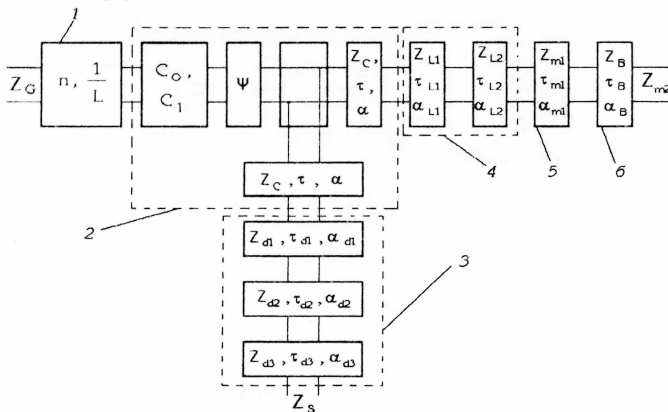


Рис. 2. Расчетная схема зонда для ультразвуковой диагностики: 1 - согласующий трансформатор; 2 - пьезокерамическая пластина (C_0 , C_1 - постоянная и частотно-зависимая емкости, ψ - коэффициент электромеханической связи, Z_c , τ , α - акустический импеданс, время прохождения и коэффициент затухания ультразвука); 3 - трехслойный демпфер (Z_{di} , τ_{di} , α_{di} - акустический импеданс, время прохождения и коэффициент затухания ультразвука в i -том слое демпфера); 4 - два согласующих слоя на пьезокерамической пластине (Z_{Li} , τ_{Li} , α_{Li} - акустический импеданс, время прохождения и коэффициент затухания в i -том согласующем слое); 5 - среда между зондом и препятствием; 6 - акустическое препятствие; Z_G - электрический импеданс генератора; Z_{m2} - акустический импеданс среды за препятствием; Z_s - акустический импеданс материала втулки акустической развязки.

Далее производится замена полученного пассивного четырёхполюсника эквивалентной схемой Т-схемой замещения. Три сопротивления этой схемы могут быть замены одним сопротивлением Z_1 , которое может быть представлено в виде четырехполюсника, матрица которого имеет следующий вид:

$$N_4 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{Z_1} & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

В результате дальнейших преобразований получается общая электромеханическая матрица зонда.

$$N_{em} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\psi} & -\frac{C_0 + C_1}{pC_0C_1\psi} \\ -\frac{1}{\psi Z_1} & \psi + \frac{C_0 + C_1}{pC_0C_1\psi Z_1} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Фронтальная часть ультразвукового зонда представлена произведением нескольких матриц, описывающих половину пьезокерамической пластины, согласующие слои, акустическую среду и препятствие.

$$N_f = N_{13}N_{12}N_{11}N_{10}N_9, \quad (5)$$

Полная матрица зонда представляет собой произведение матриц, описывающих соответственно электромеханическую и фронтальную части зонда.

$$N_t = N_f N_{em}. \quad (6)$$

В итоге расчета мы получаем передаточную функцию для принятого сигнала, пришедшего на электрический порт после отражения от всех границ раздела сред:

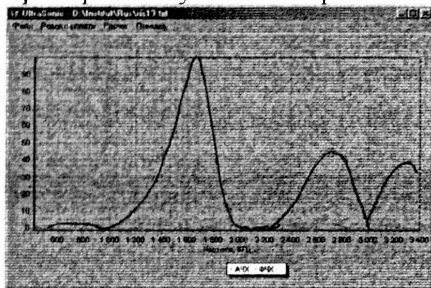
$$H_r(p) = \frac{4Z_e Z_t}{\left(Z_e Z_t N_{21}^t - Z_e N_{11}^t + N_{12}^t - Z_t N_{22}^t \right)^2}, \quad (7)$$

где N^t – передаточная функция зонда, представленная в матричной форме; Z_e – электрический импеданс выходного порта электронного блока; Z_t – акустический импеданс среды за препятствием.

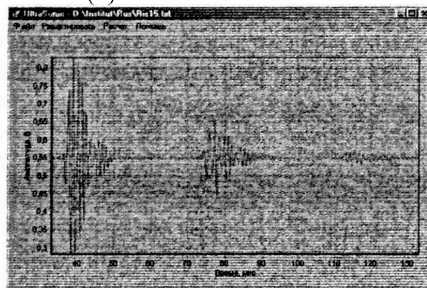
Если теперь подставить $p = j\omega$, то выражение (7), будучи умноженным на спектр импульса возбуждения (этот спектр получают разложением импульса в ряд Фурье), дает спектр принятого эхо-сигнала. Иметь спектр принятого сигнала – значит иметь амплитудно-частотную и фазово-частотную его характеристики. А это значит, что, применив обратное Фурье-преобразование, можно получить временную развертку сигнала. По этой развертке можно судить о влиянии физико-механических свойств применяемых материалов, в частности функционально- композиционных материалов, на показатели качества зонда и, таким образом, осуществлять

оптимизацию этих свойств. Дальнейшая разработка таких ФКМ сводится к созданию материалов с заранее заданными свойствами.

Для анализа конструкторско-технологических факторов, влияющих на эксплуатационные параметры УЗ - зондов был разработан пакет программ, который основан на использовании электрических аналогий при расчете передаточной функции зонда. В результате расчета определяются комплексные амплитудно - частотные передаточные функции для выходного акустического и принятого отраженного электрического сигналов, а также эквивалентный электрический импеданс УЗ - зонда. Возможно провести анализ принятого сигнала во временной области. На рис. 3 представлены примеры расчета программы: АЧХ и ФЧХ преобразователя (а), временной развертки полученного и принятого сигналов (б).



а)



б)

Рис. 3. Примеры расчета программы : а) расчетная АЧХ и ФЧХ преобразователя; б) расчетная временная развертка сигналов.

Глава 3. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Для получения зависимостей между количественными соотношениями ингредиентов композиционного материала и параметрами, характеризующими их акустические свойства (степень затухания УЗК и скорость распространения звука в исследуемом композиционном материале), был разработан и собран специальный стенд, позволяющий определять коэффициент затухания УЗК в условиях их распространения в особо сильно ослабляющей ультразвук среде. Схема данного стенда показана на рис.4.

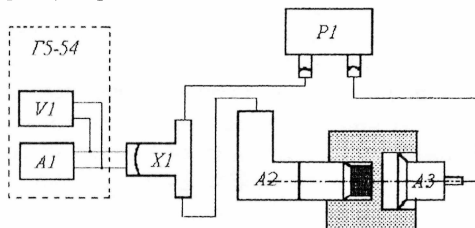


Рис. 4. Схема соединений при сборке стенда: А1 – генератор; А2 – излучатель; А3 – зонд; X1 – тройник; V1 – вольтметр; P1 – осциллограф

Затухание ультразвука определяли на образцах, изготавливаемых в виде диска диаметром 20 – 30 мм и толщиной h , равной 2 – 5 мм. Измерения производили методом переменного расстояния, который применительно к данному случаю заключался в следующем. Производили два замера амплитуды сигналов, соответствующих отсутствию и наличию образца в промежутке между излучателем и приемником ультразвука.

Исследование акустических параметров материала, представлявшего собой связанные кремнийорганическим герметиком ВИКСИНТ полые корундовые микросферы, позволило предложить новый ФКМ, характеризующийся исключительно высоким звукопоглощением. Данный материал можно использовать в частности для изготовления втулок акустической развязки для ультразвуковых диагностических зондов. Отличительной особенностью структуры такого материала является плотная упаковка микросфер. Объем изготовленного образца равен объему насыпки микросфер (порошки микросфер отличаются исключительно высокой текучестью и занимают объем компактирования без приложения дополнительного давления), а объем связующего вещества не превышает объема открытой пористости при плотной упаковке микросфер.

Для определения наилучшего сочетания характеристик элементов структуры такого ФКМ провели полный факторный эксперимент 2^3 . Рассматривались следующие факторы: материал микросфер, материал связующего вещества и концентрация связующего вещества. По результатам эксперимента получено следующее уравнение регрессии:

$$\alpha = 40,125 + 4,6x_1 - 2,05x_2 + 5,575x_3, \quad (8)$$

где x_1 , x_2 , x_3 – кодированные значения факторов материала микросфер, материала связующего, концентрации связующего.

Уровням $x_1 = +1$ и $x_1 = -1$ соответствуют корунд и стекло. Уровням $x_2 = +1$ и $x_2 = -1$ соответствуют составы герметика ВИКСИНТ У4-21 и У2-28.

Кодированное значение фактора x_3 определяется как $x_3 = \frac{C-16}{4}$, где C – содержание связки, %.

Проводя сравнение показателей качества зондов изготовленных с применением таких КМ и без них можно сделать вывод о том, что мертвая зона преобразователя значительно снижается, а разрешающая способность повышается, что, в свою очередь, улучшает эксплуатационные характеристики зонда.

Таблица1. Сравнение показателей качества зондов эхоэнцефалоскопа модели ЭЭС-12, изготовленных с применением ФКМ (фактические значения) и без него (значения по ТУ)

Резонансная частота f , МГц	Мертвая зона L , мм		Разрешающая способность t , мкс	
	фактическая	по ТУ	фактическая	По ТУ
0,88	32 - 37	50	2,6 – 3,7	8,0
1,76	25 - 34	40	2,5 – 3,0	6,0

Для дальнейшего повышения показателей качества был разработан градиентный композиционный материал для демпфера пьезоэлектрического преобразователя. Данный материал представляет собой незатвердевающее вещество, например, жидкое стекло, наполненное пьезокерамическим порошком и гранулами из пьезокерамического порошка. Демпфер, изготовленный с применением такого материала должен обладает переменными по длине акустическими свойствами: максимальным характеристическим импедансом вблизи ПЭ и минимальными скоростью звука и плотностью в противоположном конце демпфера. От плавности изменения свойств демпфера зависит коэффициент отражения по всей длине демпфера. Для обеспечения плавности изменения свойств демпфера массу компанд - наполнитель подвергают вибрационной обработке. В результате более тяжелые частицы наполнителя опускаются вниз к поверхности, которая в дальнейшем контактирует с пьезопластиной.

Для получения и анализа характеристик пьезоэлектрического преобразователя с демпфером состоящим из незатвердевающего вещества и частиц пьезокерамического порошка различного размера был разработан и собран специальный стенд, позволяющий определять мертвую зону преобразователя, разрешающую способность и динамический диапазон зонда, а также скорость звука и коэффициент затухания УЗК в материале. Для проведения эксперимента из партии ста пятидесяти пьезоэлементов было выбрано пятнадцать образцов, с которыми проводились экспериментальные исследования. На основе анализа амплитудно-частотной характеристики пьезоэлементов можно сделать вывод о том, что наилучшие характеристики получаются при одинаковом соотношении пьезокерамического порошка и гранул из пьезокерамического порошка, причем эти компоненты должны быть распределены по всему объему демпфера так, чтобы пьезокерамический порошок находился вблизи поверхности пьезокерамической пластины, а гранулы из пьезокерамического порошка были распределены с увеличением размера при удалении от пьезокерамической пластины.

Разработана технология изготовления и сборки матричного ультразвукового излучателя непрерывного воздействия. Данный излучатель может быть использован как для ультразвуковой терапии заболеваний мочеполовой системы, так и для различной обработки материалов, в частности ультразвуковой очистке или ультразвуковому перемешиванию различных

компонентов. Рассмотрены преимущества и недостатки существующей технологии. Схема матричного излучателя представлена на рис. 5.

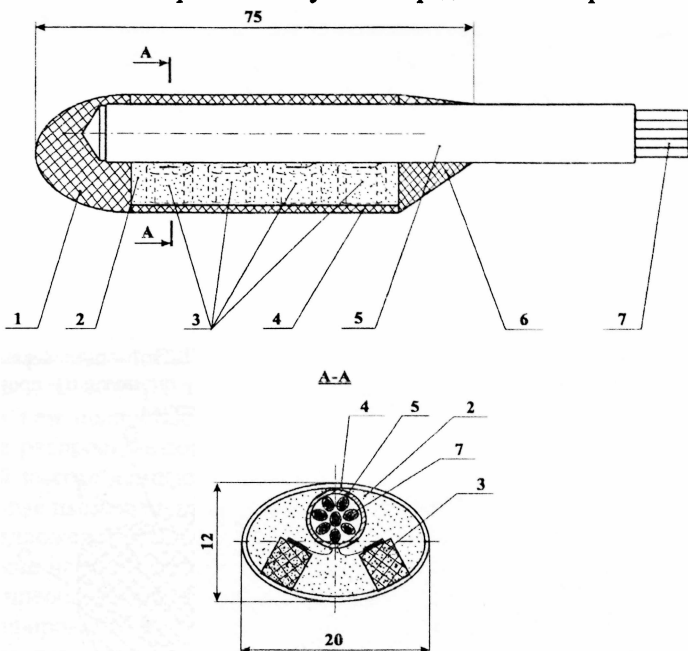


Рис. 5. Схема матричного ультразвукового терапевтического излучателя: 1 – обтекатель передний; 2 – композиционный материал; 3 – пьезоэлементы; 4 – корпус; 5 – трубка; 6 – обтекатель задний; 7 – провода

Глава 4. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И СБОРКИ ПЭП С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗРАБОТАННЫХ МАТЕРИАЛОВ.

Рассматриваются две новые конструкции и технологии изготовления матричных ультразвуковых излучателей на основе единичных пьезокерамических элементов (ЕПКЭ) и моноблочных секционированных пьезокерамических преобразователей (СПКП). На рис. 6 и 7 представлены поперечные сечения соответствующих конструкций матричных ультразвуковых излучателей.

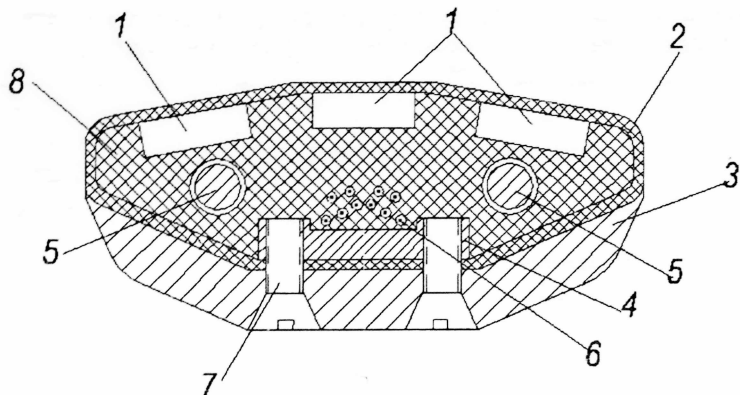


Рис. 6. Поперечное сечение излучателя на основе ЕПКЭ: 1 – пьезокерамические элементы; 2 – тонкая стенка; 3 – полукорпус; 4 – балка; 5 – шпильки; 6 – провода; 7 – винты; 8 – акустоизоляционный материал.

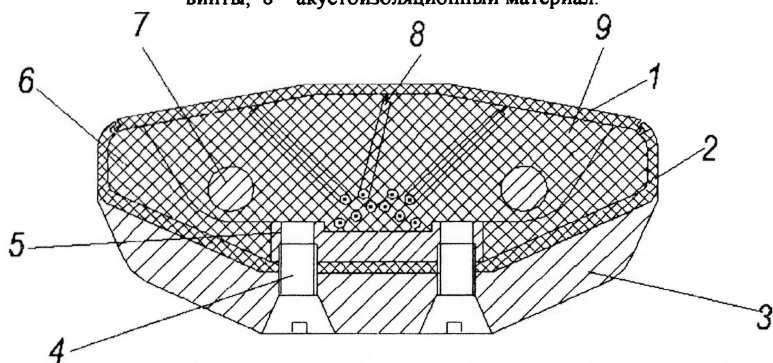


Рис. 7. Поперечное сечение излучателя на основе СПКП: 1 – моноблочный СПКП; 2 – корпус излучателя; 3 – полукорпус; 4 – винты; 5 – балка; 6 – вкладыши; 7 – шпильки; 8 – коммутирующие провода; 9 – акустоизоляционный материал.

Рассматриваются технологические процессы изготовления демпфера и втулки акустической развязки. Технология сборки сочленения пьезоэлемента с демпфером для одной из возможных конструкций следующая. В емкость засыпают пьезокерамический порошок и гранулы пьезокерамического порошка и заливают жидким стеклом, перемешивают массу до получения ее однородности. Затем к смеси добавляют глицерин и снова тщательно перемешивают.

Форму с массой помещают в вакуумный термощаф и вакуумируют. После остывания шликер перекадывают в корпус преобразователя с размещенным в нем пьезоэлементом. Для повышения демпфирующих свойств корпус с массой помещают на вибростенд или центрифугу и подвергают в течение 1-1,5 ч виброобработке, способствующей уплотнению демпфи-

рующей массы. В результате тяжелые частицы наполнителя сосредоточиваются вблизи той области демпфера, которая примыкает к пьезопластине.

При образовании пленки на поверхности шликера корпус заливают композиционным материалом на основе эпоксидной смолы. Отверждение композиционного материала происходит при комнатной температуре в течение 22-24 ч. После отверждения композиции полностью прекращается высыхание шликера и под композиционным материалом сохраняется густая тестообразная масса, имеющая устойчивый механоакустический контакт с пьезоэлементом. Полученная масса имеет акустический импеданс, близкий к акустическому импедансу пьезоэлемента и составляет $(19-21) \cdot 10^6 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$.

При таком способе изготовления преобразователя в системе излучатель-приемник излучающий акустический импульс получается в виде одной волны синусоидальных колебаний и длительностью около одной микросекунды. Благодаря тому, что демпфер имеет густую тестообразную массу, в нем полностью гасятся поперечные колебания пьезоэлемента (в массе не распространяются сдвиговые напряжения) и, кроме того, при небольшой высоте демпфера происходит интенсивное затухание колебаний, излученные пьезоэлементом в демпфирующую массу.

Предложенный способ изготовления демпфера особенно эффективен на высоких частотах работы преобразователя, а также может быть использован в преобразователях, работающих на низких частотах, которые трудно демпфировать. Таким образом, использование способа изготовления демпфера для ультразвукового преобразователя позволяет получить демпфер с большим акустическим импедансом, близким к пьезокерамическому элементу и большим коэффициентом затухания ультразвуковых волн.

Технологический процесс изготовления втулки начинается с приготовления массы. После приготовления массы необходимо сформировать заготовки. Для этого следует: подготовить пресс-форму, отвесить на технических весах 3г массы, загрузить массу в пресс-форму и тщательно разровнять ее по всему сечению матрицы, вставить в пресс-форму вкладыш, вставить пуансон, установить пресс-форму на стол пресса, максимальным усилием ручного пресса отформовать заготовку, извлечь заготовку с вкладышами, проконтролировать пропрессовку, уложить заготовки с вкладышами на лоток и сушить на воздухе в течение 24 часов, извлечь вкладыши, уложить заготовки на лоток и сушить на воздухе в течение 48 часов.

Изготовленная втулка акустической развязки должна быть надежно экранирована. Корпус ПЭП изготавливается из диэлектрика, а для электрического экранирования на внутренней поверхности втулки акустической развязки выполняется металлизация. Металлизация может быть осуществлена двумя способами; путем оклеивания поверхности втулки акустиче-

ской развязки металлической фольгой или путем химического осаждения никеля.

После всех технологических операций, необходимо провести контроль эксплуатационных параметров изготовленного пьезоэлектрического преобразователя.

На основе проведенного математического моделирования, а также экспериментальных исследований разработана конструкция пьезокерамического преобразователя с градиентным функционально-композиционным материалом в качестве демпфера, элементы которой изготавливаются по описанной выше технологии. Такую конструкцию ПЭП, показанную на рис. 8, можно назвать оптимальной.

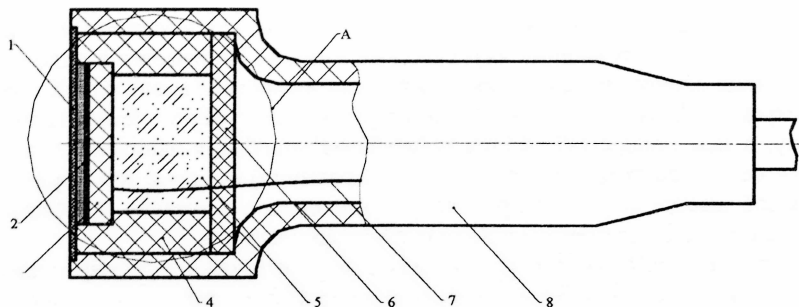


Рис. 8. Зонд новой конструкции: 1- второй согласующий слой; 2- первый согласующий слой; 3- пьезокерамическая пластина; 4- втулка акустической развязки; 5- демпфер; 6- катушка индуктивности; 7- провод коммутации; 8- корпус.

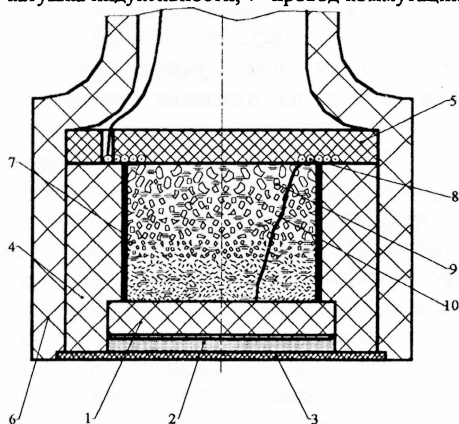


Рис. 9. Вид А (зонда новой конструкции): 1- пьезокерамическая пластина; 2- первый согласующий слой; 3- второй согласующий слой; 4- втулка акустической развязки; 5- катушка индуктивности плоской формы; 6- металлический корпус; 7- слой магнетострикционного металла; 8- витки катушки индуктивности; 9- гранулы пьезокерамического порошка; 10- провод коммутации.

Пьезоэлектрический преобразователь состоит из пьезокерамической пластины, втулки акустической развязки, катушки индуктивности плоской формы, а также демпфера, образованного заливкой в полость, образованную пьезокерамической пластиной, втулкой акустической развязки и катушкой индуктивности, наполнителя из незатвердевающего вещества. В состав наполнителя для материала демпфера входят гранулы из пьезокерамического порошка и собственно пьезокерамический порошок. Восстановление требуемого распределения гранул по размеру вдоль демпфера осуществляется путем наложения вибрации на объем демпфера посредством сочетания слоя металла на втулке акустической развязки и витков катушки индуктивности. Возбуждающее напряжение на электроды пьезокерамической пластины и на катушку индуктивности подается через провод коммутации.

Таблица 2. Численные значения параметров элементов ультразвукового зонда, изготавливаемых из ФКМ.

Элемент конструкции	Толщина, мм	Скорость звука c , км/с	Плотность ρ , г/см ³	Коэффициент затухания ультразвука α , дБ/мм
1-й слой демпфера	1,0	1,85	16	0,9
2-й слой демпфера	1,5	2,80	2,9	15
3-й слой демпфера	2,5	2,00	0,4	25
1-й согласующий слой	0,5	2,1	5,1	0,1
2-й согласующий слой	0,6	2,3	1,6	0,05

Применение демпфера описанной структуры обеспечивает уменьшение мертвой зоны зондов дополнительно на 30% относительно данных табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана математическая модель ультразвуковых датчиков, позволяющая определять требуемые физико-механические (акустические) свойства элементов, изготовленных из функционально композиционных материалов;
2. Определены зависимости эксплуатационных характеристик ультразвуковых устройств от конструктивно-технологических особенностей элементов пьезоэлектрических преобразователей;
3. Создан пакет прикладных программ для анализа конструкторско-технологических факторов, влияющих на эксплуатационные параметры ультразвуковых зондов;

4. Разработаны стенды для определения характеристик разрабатываемых материалов;
5. Предложена методика расчета конструкторско- технологических характеристик элементов пьезоэлектрических преобразователей для ультразвуковых диагностических зондов;
6. Созданы конструкции пьезоэлектрического преобразователя диагностического и терапевтического зондов с применением разработанных функционально-композиционных материалов, обладающие повышенными показателями качества;
7. Технологические процессы изготовления диагностических и терапевтических ультразвуковых преобразователей внедрены и используются на ОАО "Завод ЭМА" и ФГУП "НПО "Техномаш".
8. Получено положительное решение по заявке на патент на пьезоэлектрический преобразователь ультразвукового диагностического зонда.

Основные материалы диссертации отражены в работах:

1. Ломаев В.И., Сагателян Г.Р., Дронов А.Н. Математическая модель датчика ультразвукового контроля // Научные технологии производства РТК: Сборник научных трудов. – 2004. – Выпуск №3. – С.303-316.
2. Дронов А.Н. Технология ультразвуковых устройств на основе пьезоэлектрических преобразователей // Новые материалы и технологии «НМТ-2004»: Материалы Всерос. научно-техн. конф.- Москва, 2004. - Том 2. - С.214- 215.
3. Сагателян Г.Р., Дронов А.Н. Конструкция и сборка матричного ультразвукового терапевтического излучателя. // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2002. - №9. – С. 48-50.
4. Дронов А.Н. Технология сборки матричного ультразвукового терапевтического излучателя // Медико-технические технологии на страже здоровья «МЕДТЕХ-2002»: Материалы 4-ой научно-техн. конф. - Анталия, 2002. - С.144-145.