

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки 12.04.01 приборостроение  
Кафедра физических методов и приборов контроля качества

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы  
РАЗРАБОТКА МАЛОГАБАРИТНОГО ПЕРЕДВИЖНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО  
МЕТЕОКОМПЛЕКСА

УДК 681.88:551.509.314

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Мордус Радион Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
вед. эксперт каф. ФМПК	Капранов Борис Иванович	Д.Т.Н		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. каф. МЕН	Чистякова Наталья Олеговна	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	К.Т.Н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор каф. ФМПК	Суржиков Анатолий Петрович	доктор физ.-мат. наук		

Томск – 2016 г.  
Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	<b>Способность</b> совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;	Требования ФГОС (ОК–1, Критерий 5 АИОР (п.1.1, 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	<b>Способность</b> адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий в профессиональной области.	Требования ФГОС (ОК–7, Критерий 5 АИОР (п.1.4, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	<b>Способность</b> использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК–4,50 Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<b>Способность</b> к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно–производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения; приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности.	Требования ФГОС (ОК–2, ОК–6, ОК–3) Критерий 5 АИОР (п.1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	<b>Умение</b> использовать основные законы	Требования ФГОС

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении..	(ПК–1,ПК–10), Критерий 5 АИОР (п.1.2, 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р6	<b>Умение</b> профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.	Требования ФГОС (ПК–15, ПК–4,ПК–17), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р7	<b>Способность</b> проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.	Требования ФГОС (ПК–10, ПК–7), Критерий 5 АИОР (п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	<b>Умение</b> разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натуральных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно–исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.	Требования ФГОС (ПК–16, ПК–23,ПК–25) ПК–2,26,27,28), Критерий 5 АИОР (п.2.3, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р9	<b>Умение</b> организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.	Требования ФГОС (ПК–18; ПК–19) Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i>
Р10	<b>Способность</b> проектировать математические	Требования ФГОС

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
	<p>модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.</p>	<p>(ПК–10; ПК–21, ПК–22) Критерий 5 АИОР (п.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EURACE</i> и <i>FEANI</i></p>

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт неразрушающего контроля  
 Направление подготовки (специальность) 12.04.01 Приборостроение  
 Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Суржиков А. П.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ4А	Мордус Радиону Владимировичу

Тема работы:

Разработка малогабаритного передвижного ультразвукового метеокомплекса	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.12.2015 Приказ №10029/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Технические требования к метеокомплексу:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– диапазон скорости – от 0 до 60 м/с;</li> <li>– диапазон рабочих температур – от -50 до 50<sup>0</sup>;</li> <li>– зона измерения – ПАС;</li> <li>– габариты измерительной головки – 120 мм;</li> <li>– диапазон влажности – от 5 до 100 %;</li> <li>– Погрешность измерения температуры ± 0,3 °С, при <math>T \leq +30</math> °С; ± 0,5 °С, при <math>T &gt; +30</math> °С;</li> <li>– Погрешность измерения скорости – ± (0,1 + 0,02 V) м/с</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной</i></p>	<p>Введение</p> <p>Обзор литературы по ультразвуковым анемометрам</p> <p>Акустический метод измерения скорости ветра, температуры воздуха и параметров атмосферной турбулентности</p> <p>Электроакустические преобразователи для</p>

<i>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	метеокомплекса Экспериментальные исследования электроакустического преобразователя
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Рисунки, графики, таблицы, приложения
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	Чистякова Наталья Олеговна
<b>Социальная ответственность</b>	Анищенко Юлия Владимировна
<b>Раздел на иностранном языке</b>	Устюжанина Анна Константиновна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
История пьезокерамики	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	10.09.2014
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий эксперт кафедры ФМПК	Капранов Борис Иванович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Мордус Радион Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4А	Мордус Радиону Владимировичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Предпроектный анализ	– Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения; – SWOT-анализ;
2. Инициация проекта	– Цели и результат проекта; – Организационная структура проекта
3. Планирование управления научно-техническим проектом	– План проекта; – Диаграмма Ганта –
4. Бюджет научного исследования	– Специальное оборудование для экспериментальных работ; – Расчет основной и дополнительной заработной платы, отчислений на социальные нужды и накладные расходы
5. Проектная организационная структура научного исследования	– Проектная структура научного исследования
6. Реестр рисков проекта	– Таблица рисков

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта и проектная структура НИ
4. Бюджет НИ
5. Таблица рисков

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	31.03.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Зав. кафедрой менеджмента	Чистякова Наталья Олеговна	к. э. н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ4А	Мордус Радиону Владимировичу		



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ4А	Мордус Радиону Владимировичу

<b>Институт</b>	<b>ИНК</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ФМПК</b>
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объект исследования: Электро-акустический преобразователь.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Производственная безопасность</b> 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:  1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности	<i>К вредным производственным факторам относятся:</i> - неблагоприятные условия микроклимата. - недостаточной освещенности; - повышенный уровень шума - повышенный уровень электромагнитных полей <i>К опасным факторам относится:</i> - электрический ток.
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	<i>Проводимые исследования и расчеты являются экологически безопасными.</i>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<i>Возможные ЧС на объекте:</i> - аварии техногенного характера.
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	- организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы)

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ4А	Мордус Радион Владимирович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 115 с, рис. 19, табл. 28, 70 источников.

Ключевые слова: термоанемометр, метеокомплекс, электроакустический преобразователь, пьезокерамика, акустическое согласование.

Объектом исследования являются электроакустический преобразователь для работы в воздушной среде с повышенной эффективностью преобразования.

Цель работы – разработка ЭАП обладающего высокой эффективностью преобразования при достаточно малых габаритах, разработка конструкции и технологии его изготовления.

В процессе исследования проводились теоретические расчёты основных элементов ЭАП, экспериментальные исследования.

В результате исследования были получены основные зависимости, связывающие эффективность преобразования с характеристиками материалов протектора и демпфера и их геометрических характеристик, разработан ЭАП.

Область применения: экологический мониторинг, речные и морские суда, научно исследовательские и образовательные исследования, военное применение, оборудование оперативных машин МЧС.

Экономическая эффективность/значимость работы подтверждена проведенными результатами теоретических и экспериментальных исследований.

## Оглавление

<b>Введение</b> .....	<b>13</b>
<b>Глава 1. Обзор литературы</b> .....	<b>17</b>
<b>1.1 Ультразвуковой анемометр</b> .....	<b>17</b>
<b>1.2 Метеостанции на основе ультразвуковых анемометров</b> .....	<b>18</b>
<b>1.3 Автоматический метеокomплекс АМК-03</b> .....	<b>20</b>
<b>Глава 2. Акустический метод измерения скорости ветра, температуры воздуха и параметров атмосферной турбулентности</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1 Электроакустический преобразователь</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.1 Пьезоэффект и пьезокерамика</b> .....	<b>29</b>
<b>2.1.2 Пьезоэлектрические преобразователи</b> .....	<b>35</b>
<b>Глава 3. Электроакустические преобразователи для метеокomплекса</b> ...	<b>38</b>
<b>3.1 Выбор и расчёт активного элемента электроакустического преобразователя</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2 Выбор и расчёт протектора ЭАП</b> .....	<b>44</b>
<b>3.3 Выбор и расчёт демпфера ЭАП</b> .....	<b>48</b>
<b>3.4 – Конструкция электроакустического преобразователя для термоанемометра</b> .....	<b>52</b>
<b>Глава 4. Экспериментальные исследования</b> .....	<b>55</b>
<b>4.1 Исследование зависимости чувствительности измерительного канала от скорости воздушного потока</b> .....	<b>55</b>
<b>Глава 5. Социальная ответственность</b> .....	<b>60</b>
<b>5.1 Производственная безопасность</b> .....	<b>61</b>
<b>5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования</b> .....	<b>61</b>
<i>Повышенный уровень шума</i> .....	<b>66</b>
<b>5.2 Экологическая безопасность</b> .....	<b>68</b>

5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	69
5.4	Организационные вопросы обеспечения безопасности .....	72
<b>Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....</b>		<b>74</b>
6.1	Предпроектный анализ.....	75
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования .	75
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	75
6.3	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	80
6.4	Инициация проекта .....	82
6.4.1	Цели и результат проекта .....	82
6.4.2	Организационная структура проекта.....	84
6.4.3	Ограничения и допущения проекта.....	84
6.5	Планирование управления научно-техническим проектом ....	85
6.5.1.	Иерархическая структура работ проекта .....	85
6.5.3	План проекта .....	86
6.5.4	Бюджет научного исследования.....	88
6.5.5	Основная заработная плата.....	90
6.5.6	Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. ....	93
6.5.7	Отчисления на социальные нужды.....	94
Заключение.....		100
Список использованных источников .....		102

## Введение.

Идея применения ультразвуковых методов для измерения метеорологических параметров атмосферы появилась еще в конце 40-х годов в связи с тем, что используемым стандартным метеорологическим приборам присущи существенные инерционные и радиационные ошибки. Первоначально этот метод применялся для измерения температуры воздуха, а затем и для измерения скорости ветра и оценки турбулентных характеристик атмосферы.

С 80-х годов 20-го века в связи с интенсивным развитием компьютерной техники стали широко развиваться акустические анемометры и термометры, которые иногда называют термоанемометрами, если в одном приборе реализуется измерение  $V$  и  $T$ . При этом используются акустические волны с частотой (40...200) кГц, т.е. ультразвуковые (УЗ) волны.

Одним из основных достоинств УЗ термоанемометров (УЗТ/А) является то, что они не имеют механических движущихся частей, достаточно устойчиво работают в неблагоприятных погодных условиях. Это в значительной степени упрощает условия их эксплуатации. Основной особенностью УЗ анемометров является то, что они измеряют мгновенные значения скорости и направления ветра. Кроме того, такой прибор позволяет измерять вертикальную составляющую скорости ветра  $w$ , которая характеризует градиентные характеристики приземного атмосферного слоя (ПАС), толщина которого составляет несколько десятков метров [3]. Вертикальная компонента скорости ветра  $w$  определяет потоки тепла, влаги и импульса (количества движения) в этом слое. Информация о трехмерных (3D) потоках и турбулентности атмосферы, получаемая в малых пространственных и временных масштабах, необходима для описания состояния ПАС. Эта информация должна представляться не только в виде усредненных значений метеорологических величин, но также описывать турбулентные флуктуации, которые вносят вклад в процессы формирования,

переноса, рассеяния и диссипации полей метеорологических величин, действующих в ПАС.

**Актуальность.** В настоящее время УЗА/Т является инструментом, наиболее подходящим для измерения характеристик ПАС. Дальнейшее совершенствование таких систем требует улучшение характеристик, используемых УЗА/Т и уменьшение их габаритов.

**Предмет диссертационных исследований** – ультразвуковой метод измерения параметров атмосферы, реализованный в виде УЗА/Т.

**Объект исследований** – электроакустический преобразователь (ЭАП) для работы в воздушной среде с повышенной эффективностью преобразования.

**Цель** данной работы состоит в разработке ЭАП обладающего высокой эффективностью преобразования при достаточно малых габаритах, разработка конструкции и технологии его изготовления.

Для достижения цели должны быть решены следующие **задачи**:

- Поиск причин уменьшения чувствительности измерительного канала при увеличении скорости воздушного потока;
- Уменьшение габаритов ультразвуковой измерительной головки метеокомплекса;
- Разработать технологию изготовления электроакустического преобразователя (ЭАП), обеспечивающего минимальные потери в активный элемент (пьезокерамика) и в протектор;
  - Подбор материала и геометрических размеров протектора;
  - Подбор материала и геометрических размеров демпфера;
  - Исследование частотных характеристик ЭАП;
  - Исследование зависимости чувствительности измерительного канала от скорости воздушного потока;
- Разработать электрический режим работы ЭАП.

**Методы исследования**

При выполнении работы использованы следующие методы исследования:

- Теоретический расчёт основных элементов ЭАП;
- Экспериментальные исследования.

#### **Научная новизна**

- Получены основные зависимости, связывающие эффективность преобразования с характеристиками материалов протектора и демпфера и их геометрические характеристики;
- Создана технология изготовления ЭАП, обеспечивающая стабильность характеристик при серийном производстве.

#### **Практическая значимость**

Разработана конструкция измерительной головки метеокомплекса, имеющая меньшие габариты и обеспечивающая работоспособность при скоростях воздушного потока до 80 м/с.

#### **Реализация результатов работы**

В результате выполнения был изготовлен действующий макет модифицированного метеокомплекса с улучшенными параметрами.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы обсуждались на VI-й Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», которая проходила на базе Института неразрушающего контроля Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в VII международной студенческой электронной научной конференции «Студенческий научный форум 2015»

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

- Теоретические зависимости, связывающие эффективность преобразования с характеристиками материалов протектора и демпфера и их геометрическими размерами;

Технология изготовления ЭАП, обеспечивающая стабильность характеристик при серийном производстве;

Конструкция измерительной головки метеокомплекса, имеющая меньшие габариты и обеспечивающая работоспособность при скорости ветрового потока 80м/с.



## **Глава 1. Обзор литературы**

### **1.1 Ультразвуковой анемометр**

Принцип действия анемометров ультразвукового типа основан на измерении скорости звука, которая изменяется в зависимости от ориентации вектора движения воздуха (направления ветра) относительно пути распространения звука.

Существуют двухкомпонентные ультразвуковые анемометры — измеряют помимо скорости и направление ветра по частям света — направление горизонтального ветра и трехкомпонентные ультразвуковые анемометры — измерители всех трёх компонент вектора скорости воздуха.

Скорость звука в таких анемометрах измеряется по времени прохода ультразвуковых импульсов фиксированного расстояния от излучателя до приёмника и пересчёте измеренных времён в две или три компоненты скорости движения воздуха.

Так как скорость звука в воздухе зависит ещё от температуры (возрастает пропорционально корню квадратному из абсолютной температуры в ультразвуковых анемометрах обязательно есть термометр, по показаниям которого вносятся поправки в вычисления скорости ветра.

Многие современные модели электронных анемометров позволяют измерять не только скорость ветра (это основное предназначение прибора), но и снабжены дополнительными удобными сервисными функциями — вычисления объёмного расхода воздуха, измерения температуры воздуха (термоанемометр), влажность воздуха (термоанемометр с функцией измерения влажности).

Российскими предприятиями также выпускаются многофункциональные приборы, которые содержат в себе функции как термоанемометра, так и гигрометра (измерение влажности) и манометра (измерение дифференциального давления в воздуховоде). Например, метеометр МЭС200, дифманометр ДМЦ01М. Такие приборы используются

при создании, обследовании, ремонте, поверке вентиляционных шахт в зданиях любого типа.

Как правило, все выпускаемые на территории РФ анемометры подлежат обязательной сертификации и государственной поверке, так как являются средствами измерения.

## **1.2 Метеостанции на основе ультразвуковых анемометров**

На основе разработанных УЗА/Т, дополнив их датчиками давления, влажности, а также платиновыми термометрами, процессорами и соответствующими индикаторами, ряд фирм разработал и выпускает ультразвуковые автоматические метеостанции – УАМС. Выносные индикаторы, показывающие информацию об измеряемых метеорологических величинах, связаны с измерительными датчиками проводной или радиосвязью. В ряде УАМС предусмотрена передача получаемой информации на компьютер для создания банка данных измеряемых метеорологических величин.

Внешний вид некоторых УАМС представлен на рисунке 11 (примерно в одном масштабе), а их характеристики по диапазону измеряемых параметров ветра и температуры соответствуют в основном параметрам используемых УЗА/Т. Диапазоны измерения давления, влажности и обычной температуры приведены на соответствующих сайтах фирм изготовителей. Датчики давления и влажности размещаются обычно в стандартных жалюзийных корпусах с радиационными экранами, которые либо объединены в один конструктивный блок с УЗА/Т (рисунок 1.1, б–г, е, ж, и) либо выполнены виде отдельных выносных блоков (рисунок 1.1, з, к, л). У моделей рисунок 1.1, а и д эти датчики размещены в обычных металлических корпусах с отверстиями, которые связывают датчики с внешней атмосферой.

Метеостанции фирмы Airmar Technology Corporation [12] (рис. 12, а) имеют ряд модификаций (LB150, PB150, PB200), которые отличаются некоторыми опциями (наличие навигатора GPS, датчиков углов наклона,

подогрева и т.п.). Модели TASCNET и OIL [15] (рисунок 1.1, б, в) построены на основе УЗА P/N 102729 и отличаются в основном конструктивным расположением датчиков давления и влажности. Модель TASCNET и ее модификации имеют военное применение.

Отечественная УАМС ИМКЭС СО РАН 1Б65 (рисунок 1.1, д), основанная на УЗА/Т ДСВ-15, имеет две модификации – переносную (1Б65) с разборной 4-метровой мачтой и бортовую (1Б65Б) с автоматически раздвижной мачтой [42]. УАМС НПО "Тайфун" на основе УЗА АЦАТ-3 имеет наименование МК-15 [27] (рисунок 1.1, к).

УАМС MetPak [19] (рисунок 1.1, е) и MSS-1000 [13] (рисунок 1.1, ж) используют УЗА WindSonic (рисунок 1.1, б). Особенностью MSS-1000 является то, что информация от метеорологических датчиков передается по радиоканалу.

Особо следует отметить модель WXT520 – преобразователь метеоданных (рисунок 1.1, г) [44], созданную на основе УЗА WMT52. В корпусе прибора WXT520 вместе с датчиками давления, влажности и температуры установлен датчик измерения осадков на основе пьезоэлектрического преобразователя (Vaisala RAINCAP® [45]), который расположен под плоской верхней крышкой прибора. В итоге этот комплекс выдает информацию о шести метеорологических величинах. УАМС на основе WXT520, дополнительно включающие метеомачту и блок питания выпускаются под маркой MAWS100, а УАМС на основе УЗА WS425 – под названием MAWS410 (рисунок 1.1, з).

УАМС HD2003 на основе УЗА HD2003.1 (рисунок 1.1, с) выпускается в Италии [22]. Модификация с подогревом имеет дополнительную букву R в обозначении.

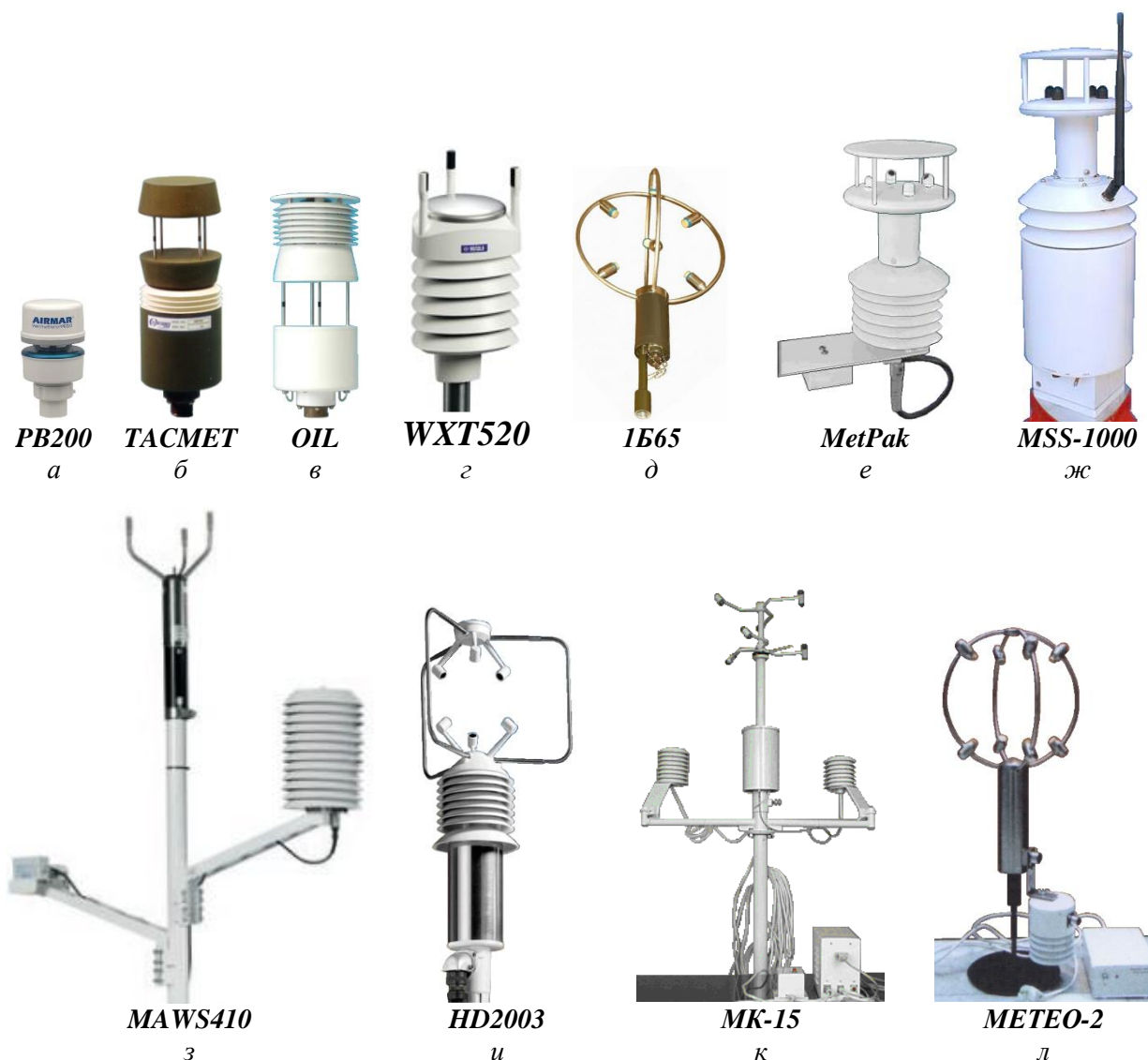


Рисунок 1.1 – Измерительные датчики УАМС: а – Airmar Technology Corporation; б, в – Climatronics Corporation; г, з – Vaisala; д – ИМКЭС СО РАН; е – Gill Instruments Ltd.; ж – Applied Technologies, Inc.; и – Delta Ohm Srl.; к – НПО "Тайфун"; л – ИОА СО РАН.

### 1.3 Автоматический метеокomплекс АМК-03

На основе акустического термоанемометра разработан метеокomплекс АМК-03 [44].

Ультразвуковой метеокomплекс АМК-03 предназначен для автоматических измерений и регистрации значений основных метеорологических параметров атмосферы:

- температуры воздуха Т;

- скорости и направления горизонтального ветра  $V$  и  $D$ ;
- скорости вертикального ветра  $W$ ;
- относительной влажности воздуха  $R$ ;
- атмосферного давления  $P$ ;

а так же вычисления турбулентных характеристик атмосферы:

- структурной постоянной температурных флуктуаций  $C_T^2$ ;
  - структурной постоянной ветровых флуктуаций  $C_V^2$ ;
  - структурной постоянной флуктуаций оптического показателя преломления  $C_{no}^2$ ;
  - структурной постоянной флуктуаций акустического показателя преломления  $C_{na}^2$
- и др.

Структурная схема и внешний вид блоков метеокомплекса АМК-03 базовой комплектации приведены на рис. 2.6 и 2.7 соответственно.



Рис.2.6. Структурная схема метеокомплекса АМК-03

В состав метеокомплекса входят акустический термоанемометр ДСВ-15 или ДСВ-16, построенных по схеме акустического термоанемометра ТАУ-01. Для измерения влажности воздуха  $R$  и внесения в соответствии с (2.9) поправок в величину измеренной акустическим методом температуру

воздуха  $T$  в состав метеокомплекса входит блок измерения влажности воздуха, а также блок измерения атмосферного давления  $P$ . Эти блоки построены на основе серийно выпускаемых сенсорных датчиков: НН-3602-С, Honeywell Inc. – для измерения влажности воздуха и МРХ 4115, Motorola Inc. – для измерения атмосферного давления.

Блок сенсорных датчиков влажности воздуха и атмосферного давления конструктивно выполнены в виде единого блока ДДВ-12 и размещаются либо в отдельном корпусе с радиационным защитным экраном (рис.2.7в), либо непосредственно в корпусе термоанемометра (рис. 2.7б). Вычисление первичных метеоданных и управление работой метеокомплекса осуществляется микропроцессором PIC16F38, плата которого размещена в пульте управления и индикации ППУ-25. Питание метеокомплекса осуществляется с помощью блока питания БПН-52, в котором также размещен интерфейс связи микропроцессора с внешним компьютером (RS – 232).



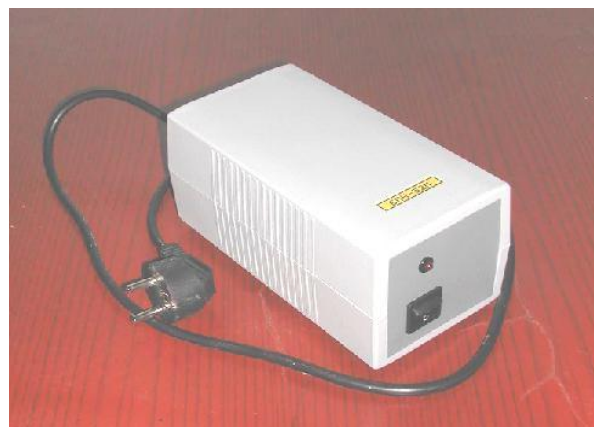
а) Акустический термоанемометр  
ДСВ-16



б) Акустический термоанемометр  
ДСВ-15



в) Датчик давления и влажности  
ДДВ-12



г) Блок питания  
БПН-52



д) Пульт управления  
ППУ-25

Рисунок 2.7 – Базовый метеокомплекс АМК-03

Пульт управления и индикации ППУ-25 имеет клавиатуру для переключения режимов работы метеокомплекса, светодиодный цифровой индикатор для отображения конечной информации и электронный блок обработки информации, выполненный на основе микропроцессора PIC16F38. Здесь выполняется вычисление конечных значений метеопараметров по заданным алгоритмам с учетом поправок, задаваемых при калибровке метеокомплекса, а так же в зависимости от данных, получаемых с датчика влажности воздуха (при вычислении «акустической» температуры воздуха). Кроме того, к пульту управления и индикации могут быть подключены до 8 дополнительных датчиков (для измерения температуры почвы, температуры воды и пр.) и накопительное устройство, позволяющее запоминать и хранить

текущие значения измеренных метеопараметров при работе устройства в автономном режиме. Пульт управления и индикации имеет также входной разъем для подключения электропитания и выходной разъем для подключения персонального компьютера. Персональный компьютер может быть подключен и непосредственно к блоку ДДВ-16 (ДДВ-15) и выполнять все функции ППУ-25 (кроме обеспечения работы дополнительных датчиков метеопараметров).

В таблице 2.7 приведены основные метрологические характеристики метеокомплекса АМК-03.

Таблица 2.7 – Основные метрологические характеристики метеокомплекса АМК-03

Измеряемая величина (обозначение)	Диапазон измерения, в пределах	Допускаемая основная погрешность измерения, в пределах
1. Температура воздуха ( $T$ )	от минус 50 °С до плюс 55 °С	$\pm 0,3$ °С, при $T \leq +30$ °С; $\pm 0,5$ °С, при $T > +30$ °С
2. Скорость горизонтального ветра ( $V$ )	от 0.1 м/сек до 30 м/сек	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
3. Направление горизонтального ветра ( $D$ )	от 0 до 360°	$\pm 4^\circ$
4. Скорость вертикального ветра ( $W$ )	от минус 15 м/сек до плюс 15 м/сек	$\pm (0,1 + 0,02 V)$ м/с
5. Относительная влажность воздуха ( $R$ )	от 5 до 100 %	$\pm 2,5$ % при $T > 0$ °С; $\pm 5$ % при $T \leq 0$ °С
6. Атмосферное давление ( $P$ )	от 693 до 1067 гПа (от 560 до 800 мм.рт.ст.)	$\pm 1$ гПа ( $\pm 0,4$ мм.рт.ст.)

Основные технические характеристики метеокомплекса АМК-03:

- время готовности развернутого метеокомплекса к работе - не более 3-х минут;



-отображение измеряемой информации и управление режимами работы метеокомплекса осуществляются с помощью пульта управления и индикации и/или персонального компьютера;

- электропитание модификаций изделия осуществляется а): от сети переменного тока с напряжением  $220 \text{ В} \pm 10\%$  и частотой  $50 \text{ Гц} \pm 1 \text{ Гц}$ , потребляемая мощность - не превышает  $10 \text{ ВА}$ , б): от сети постоянного тока с напряжением  $12_{-1}^{+3} \text{ В}$  (аккумуляторной батареи), потребляемый ток не превышает  $0,20 \text{ А}$ , в): от сети постоянного тока с напряжением  $27 \text{ В}$ , потребляемый ток не превышает  $0,20 \text{ А}$

- габариты и масса основных функциональных блоков метеокомплекса:

а) датчик метеопараметров ДСВ-15 -  $380 \times \text{Ø}230 \text{ мм}$  и  $1,4 \text{ кг}$  соответственно;

б) пульт управления –  $130 \times 72 \times 30 \text{ мм}$  и  $0,4 \text{ кг}$  соответственно;

в) блок питания ( $220\text{В}$ ,  $50\text{Гц}$ ) –  $200 \times 100 \times 80 \text{ мм}$  и  $2,2 \text{ кг}$  соответственно;

## **Глава 2. Акустический метод измерения скорости ветра, температуры воздуха и параметров атмосферной турбулентности**

Идея применения ультразвуковых методов для измерения метеорологических параметров атмосферы появилась еще в конце 40-х годов [27] в связи с тем, что используемым стандартным метеорологическим приборам присущи существенные инерционные и радиационные ошибки. Первоначально этот метод применялся для измерения температуры воздуха [28], а затем и для измерения скорости ветра и оценки турбулентных характеристик атмосферы [29].

Интенсивное развитие в последнее время цифровых интегральных микросхем, появление современных микропроцессоров и персональных компьютеров привело к разработке качественно новых ультразвуковых

метеостанций, обладающих существенно лучшими техническими характеристиками. Данные устройства позволяют в непрерывном автоматическом режиме определять мгновенные значения температуры воздуха и трех ортогональных компонент скорости ветра с постоянной времени порядка  $10^{-2}$  сек и пороговой чувствительностью, примерно равной 0,01 градусов Цельсия или 0.01 м/с соответственно. Эти измерения могут проводиться непрерывно с частотой повторения 10 – 100 Гц. Накопленный массив мгновенных значений скорости ветра и температуры воздуха позволяет в реальном масштабе времени проводить вычисления широкого ряда производных от них параметров, включая турбулентные характеристики атмосферы [29].

Методика измерений метеопараметров ультразвуковыми системами основана на зависимости групповой скорости звука от температуры воздуха и скорости ветра [30]:

$$U = cn + v, \quad (2.1)$$

Здесь  $U$ - вектор групповой скорости звука,  $n$  – нормаль к фазовому фронту волны,  $v$  – вектор скорости ветра,  $c$  – скорость распространения звука в неподвижном воздухе. Известно [31], что формула скорости звука в воздухе  $c$  выводится из линеаризованных уравнений гидродинамики. При этом для идеального в термодинамическом смысле газа имеет место соотношение:

$$c = \sqrt{\frac{\chi R}{\mu} T_K}, \quad (2.2)$$

где  $\chi = c_p/c_v$  - соотношение теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $T_K$  – температура в градусах Кельвина,  $\mu$  - молекулярный вес газа. Для сухого воздуха при нормальных условиях  $\chi = 1,402$ ,  $\mu = 28,96$ ,  $R = 8.315 \cdot 10^7$  эрг/град и, следовательно, вместо (2.2) можно использовать формулу

$$c = 20,067 \sqrt{T_K}, \text{ м/с} \quad (2.3)$$

Поправки Ван-дер-Вальса, применяемые для реальных газов, вне области частот звуковых колебаний пренебрежимо малы. Молекулярный вес воздуха остается практически неизменным по крайней мере до высот порядка 100 км. Величина  $\chi = c_p/c_v$  изменяется в зависимости от температуры воздуха в диапазоне ее реальных в атмосфере значений только в 4-ой значащей цифре. Поэтому формула (2.3) позволяет достаточно точно оценивать температуру воздуха из величины  $c$ . Если дополнительно учитывать зависимость  $c$  от отношения упругости водяного пара к атмосферному давлению  $e/p_\alpha$ , получим:

$$c = 20,067 \sqrt{T_v}, \quad (2.4)$$

где  $T_v = T_k(1 + 0,3192 e / p_\alpha)$  – виртуальная акустическая температура. Влияние  $e$  может быть учтено здесь из относительной влажности воздуха  $E$  через соотношения  $e = 6.107^{m-2} \cdot E$ ,  $m = 7,665 T / (243.33 + T)$ ,  $T$  – температура воздуха в градусах Цельсия.

В ультразвуковых системах измеряют время  $t_i$  прохождения акустического импульса между парами ультразвуковых преобразователей, разнесенных на известные расстояния  $L_i$  вдоль выбранных направлений  $i$ . При этом фактически оценивается значение модуля групповой скорости  $U_i = \{c^2 + 2c \cdot v n_i + v^2\}^{1/2}$ , используя соотношение  $U_i = L_i/t_i$ . Поскольку вектор скорости ветра  $v$  характеризуется значениями его трех ортогональных компонент  $v_x$ ,  $v_y$  и  $v_z$ , то для алгоритмического выделения вкладов ветра и температуры в полученные значения  $U_i$  требуется иметь минимум 4 канала распространения ультразвука в воздухе, отличающихся по ориентации в пространстве. При выводе окончательных алгоритмов следует использовать разложение  $U_i$  в ряд по малому параметру  $v/c \ll 1$ :

$$U_i = c + v n_i + (v n_{i\perp})^2 / (2c) + (v n_{i\perp})^4 / (8c^3) + \dots, \quad (2.5)$$

где  $n_{i\perp}$  – единичный вектор, поперечный к  $n_i$ . Если оставлять в данном разложении только первые два члена (линейное приближение), то вклад составляющей скорости ветра, поперечной к направлению распространения

сигнала, не будет учтен. Численные оценки показывают, что это можно делать только в случае слабого ветра  $v \leq 10$  м/с. Поэтому алгоритмы измерений, применяемые в ультразвуковых системах, обязательно должны также учитывать квадратичные члены в указанном разложении. Конкретный вид алгоритмов определяется геометрической схемой пространственного расположения излучателей и приемников акустических сигналов.

К главному достоинству ультразвуковых метеостанций можно отнести то, что из их данных непосредственно вычисляются различные параметры температурной и ветровой турбулентности для приземного слоя атмосферы. Указанные вычисления производятся по известным из теории атмосферной турбулентности формулам [31]. В частности, для определения структурных постоянных температурных флуктуаций  $C_T^2$ , ветровых флуктуаций  $C_V^2$ , флуктуаций акустического показателя преломления  $C_{na}^2$ , флуктуаций оптического показателя преломления  $C_{no}^2$  используются соотношения [32]:

$$\begin{aligned}
 C_T^2 &= \langle [T'(t + \Delta t) - T'(t)]^2 \rangle (\langle V_m \rangle \Delta t)^{-2/3} \\
 C_V^2 &= \langle [u'(t + \Delta t) - u'(t)]^2 \rangle (\langle V_m \rangle \Delta t)^{-2/3} \\
 C_{na}^2 &= C_T^2 / (2 \langle T_k \rangle)^2 + C_V^2 / \langle c \rangle^2 \\
 C_{no}^2 &= \{ 8 \cdot 10^{-5} \langle P \rangle / \langle T_k \rangle^2 \}^2 C_T^2
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

где  $V_m$  – модуль среднего вектора скорости ветра;  $\Delta t$  – временной интервал между измерениями мгновенных метеовеличин;  $T_k$  – температура воздуха;  $c$  – скорость звука;  $P$  – атмосферное давление.

Перечисленных параметров достаточно, чтобы оценить динамический режим турбулентности в приземном слое атмосферы.

Реализация описанных соотношений возможна при использовании ЭАП. В настоящее время в метеокомплексах используют в основном ЭАП на основе пьезоэффекта.

## **2.1 Электроакустический преобразователь**

### **2.1.1 Пьезоэффект и пьезокерамика**

Первая научная публикация, описывающая явление, позже известное как пьезоэлектричество, появилось в 1880 году. Оно было сделано в соавторстве Пьером и Жаком Кюри, которые проводили различные эксперименты на кристаллах в то время. В ходе этих экспериментов были каталогизированы ряд кристаллов, таких как турмалин, кварц, топаз, тростниковый сахар и соли Рейнеке, на поверхности которых наблюдались электрические разряды, генерируемые посредством механических деформации. В научном обществе это было громкое открытие, и этому явлению дали название «пьезоэлектричество». Слово «пьезо» греческое и обозначает «нажатие». Поэтому пьезоэлектричество – энергия, созданная путем давления. Это позволяло отличить пьезоэлектричество от других связанных с ним явлений, представляющих интерес в то время, таких как пироэлектричество и другие. Хотя открытие и приписывают братьям Кюри, тем не менее они не обнаружили обратный пьезоэффект. Скорее всего, оно было математически предсказано из фундаментальных законов термодинамики Липманном в 1881. Говоря об этом, Кюри признаются, что для экспериментального подтверждения использовали работы Липманна. Открытие пьезоэлектричества вызвало значительный интерес в рамках Европейского научного сообщества. Впоследствии, примерно в течении 30 лет с его открытия и до первой мировой войны, изучение пьезоэлектричества рассматривалось как заслуживающая доверия научная деятельность. Были изучены такие вопросы, как обратимость электрической и механической энергии, ассиметричный характер свойств пьезокристаллов, а также использование термодинамики при описании различных аспектов пьезоэлектричества в этот период.

Первое успешное применение пьезоэлектрических материалов произошло во время первой мировой войны. Эта работа создана Полом Ланжевенном и его сотрудниками во Франции, который создал

ультразвуковой детектор для подводной лодки. Преобразователь был изготовлен из мозаики тонких кристаллов кварца, которые были приклеены между двумя стальными пластинами таким образом, что композитная система имела резонансную частоту 50 кГц. Это устройство использовалось для передачи высокочастотного сигнала в воду и измерения глубины по времени возвращения эха. Их изобретение, однако, не было идеально до конца войны. На волне успеха использования в сонарах, между двумя мировыми войнами, пьезоэлектрические кристаллы были использованы во многих приложениях. Кристаллы кварца были использованы в разработке стабилизаторов частоты ламповых генераторов. Ультразвуковые преобразователи, изготовленные из пьезоэлектрических кристаллов, были использованы для измерения свойств материалов. Большинство способов применения, с которыми мы знакомы в настоящее время, такие как микрофоны, акселерометры, ультразвуковые преобразователи – были открыты и коммерчески опробованы в тот период. Разработки пьезоэлектрических материалов во время и после второй мировой войны помогли произвести революцию в этом поле. Во время второй мировой войны значительное количество исследований было проведено в Соединённых Штатах Америки и других странах, таких как Япония и Советский Союз, которые были направлены на разработку материалов с очень высокой диэлектрической проницаемостью для производства конденсаторов. Было открыто множество новых пьезоэлектрических материалов и способов их производства. Возможность создания новых пьезоэлектрических материалов и путей их адаптации к конкретному применению привело к ряду разработок и изобретений, таких как: мощные гидролокаторы, системы пьезозажигания, чувствительные гидрофоны и керамические звукосниматели.

Пьезокерамика представляет собой массу из перовскита. Каждый кристалл состоит из небольшого четырехвалентного иона металла, расположенной внутри решетки больших ионов двухвалентных металлов и

O<sub>2</sub>, как показано на рисунке 2.1. Для приготовления пьезоэлектрической керамики, высокодисперсные порошки из компонентов оксидов металлов смешивают в определенных пропорциях. Затем эту смесь нагревают с образованием однородного порошка. Порошок затем смешивают с органическим связующим и формируют в конкретные формы, например, диски, стержни, пластины и т.д. Эти элементы затем нагревают в течение определенного времени в соответствии с заданной температурой. В результате этого процесса частицы порошка спекаются, и образуется плотная кристаллическая структура. Элементы затем охлаждают и, при необходимости, обрезают в конкретные формы. Затем электроды прикрепляют к соответствующим поверхностям конструкции. Выше критической температуры, известной как точка Кюри, каждый кристалл перовскита в нагреваемом керамическом элементе обладает простой кубической симметрией без дипольного момента, как показано на рисунке 2.2. Тем не менее, при температуре ниже температуры Кюри каждый кристалл имеет тетрагональную симметрию и обладает дипольным моментом. Прилегающие диполи образуют области локального выравнивания под названием "домены". Такой расклад дает дипольный момент к домену, и, таким образом, домен поляризуется. Как показано на рисунке 2.2 (а), направление поляризации соседних доменов является случайным. Следовательно, керамический элемент не имеет общей поляризации. Домены в керамический элемент выровнены, подвернутые действию сильного постоянного электрического поля, как правило, при температуре немного ниже температуры Кюри (рис 2.2 (б)). Это называется "процессом поляризации". После того как электрическое поле убрано, большинство диполей остаются в таком положении.

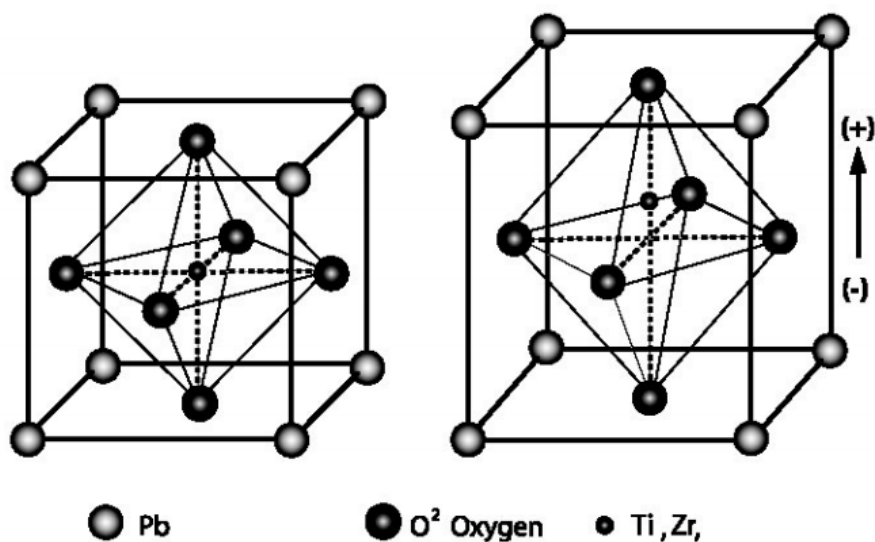


Рисунок 2.1 – керамическая структура, до и после поляризации (рисунок 2.3 (с)).

Элемент теперь имеет постоянную поляризацию, остаточную поляризацию, и как правило, постоянно вытянут. Увеличение длины, тем не менее, очень мало, примерно в диапазоне миллиметра. Свойства пьезоэлектрического керамического элемента могут быть объяснены серией изображений на рисунке 2.4. Это создает напряжение. Сжатие вдоль направления поляризации, или растяжение перпендикулярно к направлению поляризации, генерируется напряжение той же полярности что и поляризация (рисунок 2.4 (б)). Напряжение вдоль направления поляризации, или сжатие перпендикулярное этому направлению, формирует напряжение с полярностью, противоположное полярности напряжения поляризации (рисунок 2.4(с)). При работе в этом режиме, устройство используется в качестве датчика. То есть, керамический элемент преобразует механическую энергию сжатия или растяжения в электрическую энергию. Значения для сжимающих напряжений и напряжения (или напряженности поля), генерируемой при давлении на пьезоэлектрический керамический элемент линейно пропорционально, вплоть до определенного напряжения, которое зависит от свойств материала. То же самое верно и для приложенного напряжения и генерируемого напряжения. Если напряжение той же



полярности, что напряжение поляризации керамического элемента, элемент будет удлиняться в направлении напряжения поляризации и его диаметр становится меньше (рисунок 2.4 (d)). Если напряжение поляризации, противоположно полярности напряжения, то элемент станет короче и шире (рисунок 2.4 (e)). Если переменное напряжение подается на устройство, элемент расширяется и сжимается циклически, на частоте приложенного напряжения. При работе в этом режиме, пьезоэлектрический керамический используется в качестве привода. То есть, электрическая энергия преобразуется в механическую.

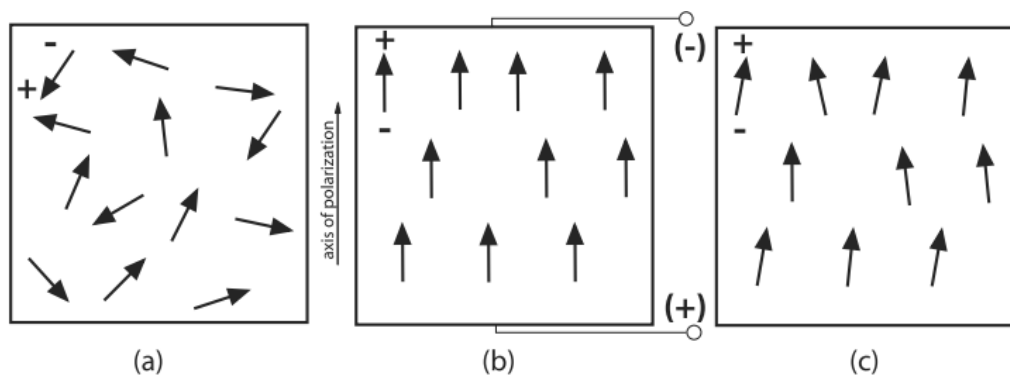


Рисунок 2.3 – Процесс поляризации: (a) – до поляризации домены ориентированы случайным образом, (b) – сильное постоянное поле используется для поляризации, (c) – после того как поле снимают, поляризация сохраняется.

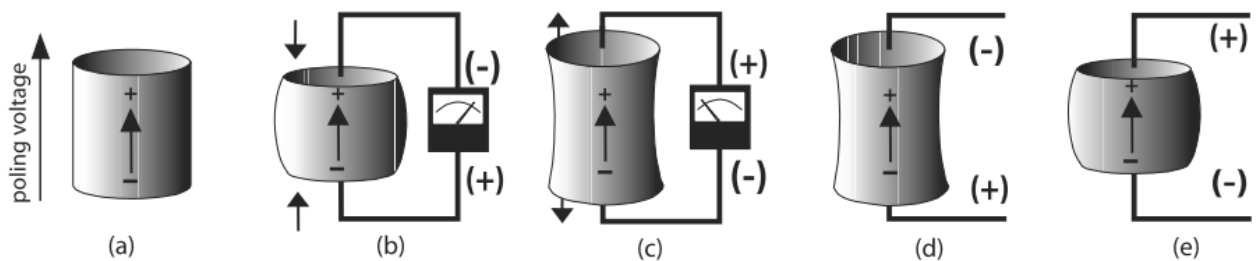


Рисунок 2.4 – Отклик пьезоэлемента на деформацию

Основными характеристиками пьезокерамических материалов являются:

- 1) коэффициент электромеханической связи ( $K_p$ );
- 2) относительная диэлектрическая проницаемость ( $\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$ );
- 3) удельное объемное электрическое сопротивление ( $\rho_V$ );

- 4) плотность ( $\rho$ );
- 5) водопоглощение ( $W$ );
- 6) пьезомодули в динамическом режиме ( $d_{31}, d_{33}$ );
- 7) пьезомодуль в статическом режиме ( $d_{31}$ );
- 8) модуль Юнга ( $Y_{31}^{10}$ );
- 9) скорость звука ( $v_i^j$ );
- 10) механическая добротность ( $Q_M$ );
- 11) относительное отклонение частоты в интервале рабочих температур от частоты, измеренной при температуре настройки ( $\delta f_\theta / f_r$ );
- 12) тангенс угла диэлектрических потерь в слабых электрических полях ( $\text{tg}\delta$ );
- 13) электрическая прочность ( $E_{пр}$ );
- 14) температура точки Кюри ( $T_K$ );
- 15) предел механической прочности при статическом сжатии ( $\delta_{сж}$ );
- 16) предел механической прочности при статическом изгибе ( $\delta_{изг}$ );
- 17) предел механической прочности при статическом растяжении ( $\delta_{раст}$ );

В таблице 2.1 приведены характеристики основных тестов пьезокерамических материалов

Таблица 2.1 – Таблица физических и электрических свойств пьезокерамических материалов

Параметр	Символ	Единица измерения	ЦТС-19	ЦТС-19М	ЦТС-19С-1	ЦТС-19С-24М	ЦТС-19С-3
Диэлектрическая проницаемость	$\epsilon_{33}^T / \epsilon_0$	1	1650	1850	4100	1050	2325
Тангенс угла диэлектрических потерь	$\text{tand}$	$10^{-2}$	0,0300	0,0250	0,0270	0,0075	0,0120

потерь							
Коэффициент электромеханической связи	$K_p$	1	0,56	0,62	0,65	0,52	0,52
	$K_{31}$	1	0,29	0,35	0,38	0,30	0,30
	$K_{33}$	1	0,64	0,72	0,73	0,62	0,64
Пьезоэлектрический модуль	$(-) d_{31}$	$10^{-12}$	155	183	289	100	158
	$d_{33}$	Кл/Н	360	410	600	255	360
	$g_{31}$	$10^{-3} (V\cdot m)/N$	8,9	10,9	8,0	11,9	7,7
	$g_{33}$		22,3	24,4	17,1	26,8	16,8
Частотная постоянная	$N_p$	Hz·м, м/с	2,0	2,0	2,0	2,2	2,4
Скорость звука	$V_E^1$	$10^3$ м/с	2,95	2,85	2,75	3,55	3,47
Упругая жесткость	$S_{11}^E$	$10^{-12}$	15,8	16,3	16,0	11,5	11,1
	$S_{33}^E$	$m^2/N$	16,8	17,5	18,5	15,4	13,9
Коэффициент Пуансона	$s$	1	0,38	0,36	0,38	0,31	0,30
Предел механической прочности при статическом растяжении/сжатии, не менее:	$S_{раст}$	$10^6$ N/m <sup>2</sup>	не нормир.	не нормир.	19,6		21,6
	$S_{сжат}$		294	294			
Механическая добротность	$Q_m$	1	90	90	50	200	200
Точка Кюри	$T_c$	<sup>0</sup> С	290	300	170	280	180
Плотность	$\rho$	$10^3$ kg/m <sup>3</sup>	7,60	7,60	7,30	7,55	7,20

### 2.1.2 Пьезоэлектрические преобразователи

Пьезоэлектрические преобразователи применяются в различных областях, начиная от зажигалок до ультразвуковых устройств обработки изображений. В данной работе рассматриваются преобразователи на круговых пьезоэлектрических керамических дисках. Типичный преобразователь такого типа показан на рисунке 2.5. Этот тип датчика, как правило, применяется для излучения ультразвуковых волн в жидкости или твердой среде, а именно в газовых расходомерах. Пьезоэлектрический диск, который на рисунке 2.5 зажат между внешним и защитным слоем, является активным элементом пьезоэлектрического преобразователя. Два электрода на верхней и нижней поверхностях диска соединены с генератором сигналов. В

соответствии с пьезоэлектрическим эффектом, пьезоэлектрический диск будет вибрировать синусоидально, в зависимости от напряжения, подаваемое через электроды пьезоэлектрического диска. Вибрация диска связана с частотой синусоидального напряжения переменного и к геометрии диска, и может часто быть сложной формы.

Типичные высокопрочные пьезоэлектрические материалы имеют высокое акустическое сопротивление по сравнению с водой и воздухом. Следовательно, пропускная способность функций отклика диска становится низким. Рассогласование акустического импеданса может быть устранено с помощью внешнего и защитного слоев между пьезоэлектрическим диском и внешней средой, как показано на рисунке 2.5. На задней стороне пьезоэлектрического диска применяется подложка для акустического согласования. На передней стенке может быть применен подходящий слой материала толщиной в четверть волны, для соответствия высокому акустическому импедансу пьезоэлектрического диска для низкого характеристического импеданса жидкой среды. Существует много аспектов оптимального выбора подложки и толщины слоя передней и акустического импеданса.

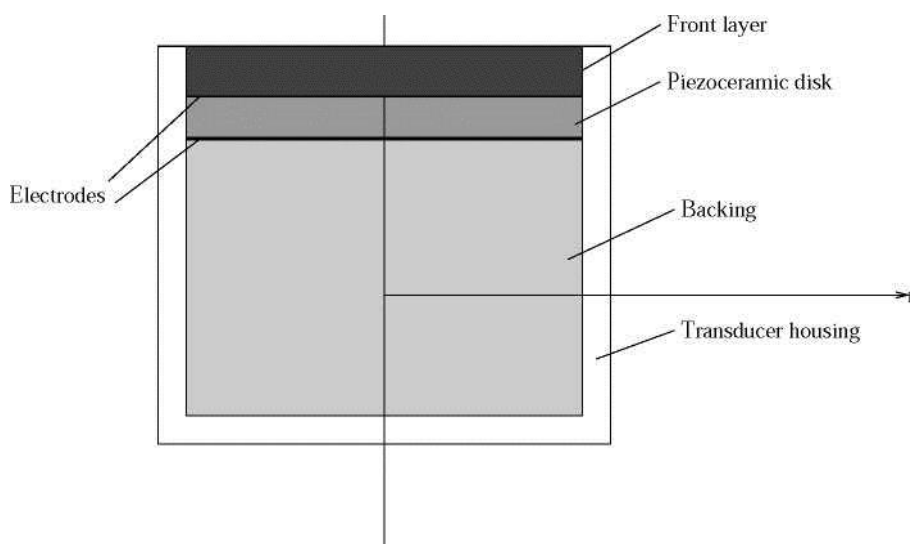


Рисунок 2.5. Базовая структура для асимметричного пьезоэлектрического преобразователя.

Пьезоэлектрический преобразователь может быть использован для работы либо в режиме передачи, либо в режиме приема. В режиме передачи ультразвуковой волны генерируется приложенным электрическим напряжением или током. В режиме приемника, электрический сигнал генерируется с помощью входящего акустического поля. В некоторых случаях, тот же преобразователь используется для выполнения обеих функций. В данной работе исследуется только режим передачи, хотя инструмент моделирования также может имитировать датчик в режиме приема с незначительными модификациями.

Преобразователь может работать в режиме либо непрерывной волны, в которой преобразователь гармонически работает при заданной частоте, или в импульсном режиме, когда преобразователь используется, чтобы посылать импульсы.

### **Глава 3. Электроакустические преобразователи для метеокомплекса**

При разработке ультразвуковых измерителей скорости ветра и температуры воздуха ключевым элементом, определяющим точностные, инерционные и эксплуатационные характеристики прибора, является электроакустический преобразователь (ЭАП), служащий излучателем и приемником распространяющихся через контролируемую воздушную среду акустических волн [33]. К электроакустическому преобразователю предъявляется целый ряд требований, носящих зачастую противоречивый характер. Основными из них являются следующие:

- для обеспечения необходимой погрешности и чувствительности измерений ЭАП должен обеспечивать генерацию короткого акустического импульса с высокой крутизной переднего фронта (для этого частота колебаний акустического сигнала должна составлять не менее 100-200 кГц);

- для обеспечения необходимого измерительного объема ЭАП должен обеспечивать амплитуду генерируемого акустического импульса, достаточную для уверенной его регистрации при измерительной базе порядка 7 – 14 см (для этого частота колебаний акустического сигнала не должна превышать 150-200 кГц из-за роста с частотой коэффициента поглощения сигнала в воздухе);

- для обеспечения требуемой инерционности ЭАП-излучатель и ЭАП-приемник должны иметь высокие коэффициенты затухания реверберационных колебаний акустических сигналов;

- ширина диаграммы направленности ЭАП-излучателя должна быть достаточной для предотвращения эффекта сноса сигнала с апертуры ЭАП-приемника ветровым потоком, вектор которого перпендикулярен направлению распространения акустического импульса;

- ЭАП должен сохранять работоспособность в температурном диапазоне  $-50...+50^{\circ}\text{C}$  (а в специальных случаях – до  $-70^{\circ}\text{C}$ ) при скоростях ветра 30-40 м/сек в условиях воздействия влажности до 100%,

конденсированных осадков в виде дождя или снега, быть устойчивым к обледенению, выдерживать механические нагрузки, характерные для режима его эксплуатации.

Качество зондирующего сигнала и сигнала приемника определяется частотными и спектральными характеристиками электроакустического тракта ЭАП, представляющего собой совокупность механических узлов и сред, резко отличающихся по акустическим свойствам. Границы раздела являются генераторами акустических помех со значительными амплитудами. Эффективность передачи и приема акустических импульсов обеспечивается за счет выбора оптимальных частот ультразвуковых колебаний, согласования пьезоэлемента с контролируемой средой, гашением реверберационных колебаний. Согласование пьезоэлемента с контролируемой средой осуществляют применением согласующего протектора, гашение реверберационных колебаний – установкой поглощающих колебания демпферов.

На рисунке 3.1 приведена схема электроакустического преобразователя. Он состоит из трех основных элементов - пьезокерамической пластины 3 выполняющей функцию преобразователя электрических импульсов в акустические (излучатель) или наоборот (приемник), протектора 5, согласовывающего волновые характеристики пьезокерамики и воздуха, и демпфера 2, предназначенного для гашения реверберационных колебаний, возникающих после окончания действия возбуждающего колебания импульса.

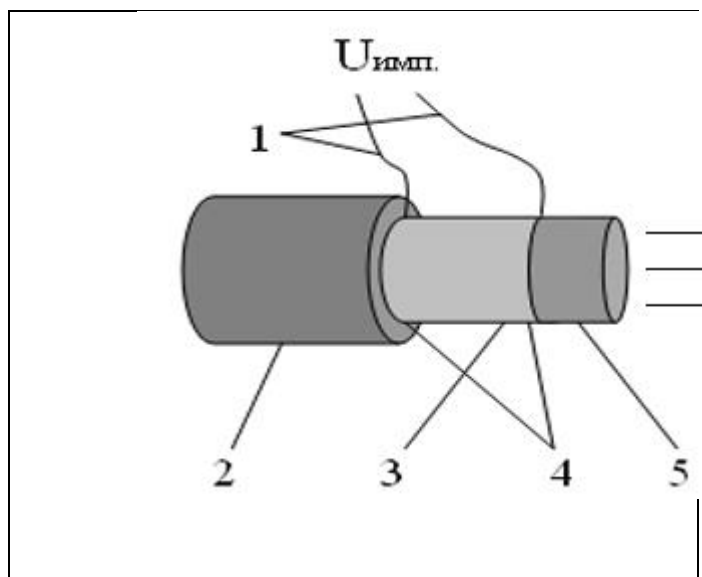


Рисунок 3.1 Электроакустический преобразователь: 1 – выводы электродов, 2 – демпфер, 3 – пьезокерамическая пластина, 4 – электроды, 5 – протектор

### 3.1 Выбор и расчёт активного элемента электроакустического преобразователя

Активным элементом ЭАП, как правило, является пьезокерамическая пластина, осуществляющая преобразование электрических импульсов в акустические (излучатель) и наоборот (приемник).

При сжатии и растяжении в определенных направлениях некоторых кристаллов (пьезоэлементов) на их поверхностях образуются электрические заряды – прямой пьезоэффект, и наоборот, если к этим поверхностям приложить разность электрических потенциалов, то пьезоэлемент растянется или сожмется в зависимости от того, на какой из поверхностей будет больше напряжение – обратный пьезоэффект. На обратном пьезоэффекте основана работа ультразвуковых излучателей, преобразующих переменное электрическое напряжение в акустические механические колебания той же частоты. На прямом пьезоэффекте основаны ультразвуковые приемники, преобразующие акустические колебания в электрическое напряжение. Излучатели характеризуются пьезоэлектрическим модулем  $d=S/E$  (м/В),



который определяет величину заряда, вызванного механическим напряжением в 1 Н/м и величину деформации, вызванную электрическим полем напряженностью 1В/м. Приемники, характеризуются пьезоконстантой по деформации  $h=E/S$  (В/м), где  $E$  – напряжение на пьезоэлементе,  $S$ - размер упругой деформации. Эффективность излучателя растет с ростом  $d$ . Между  $h$  и  $d$  имеется зависимость:  $h = (Y/\epsilon\epsilon_0) d$ , где  $Y$  – модуль Юнга,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума). Следовательно, с ростом пьезомодуля  $d$  возрастает и пьезоконстанта  $h$ . Часто приемник и излучатель выполняются в одном корпусе, с применением одного и того же пьезоэлемента.

В настоящее время в качестве излучателей и приемников акустических колебаний применяют, главным образом, пьезокерамические материалы, такие как титанат бария, цирконат титаната свинца – твердый раствор цирконата и титанат свинца [35]. Различают сегнетомягкую и сегнетожесткую керамики. Первая характеризуется высокими значениями пьезомодуля  $d$  и диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , а также сравнительно большими механическими и электрическими потерями. К ней относятся пьезокерамики ЦТСНВ-1, ТБ-1, ЗЗТ-5Н. Вторая, наоборот, обладает сравнительно малыми потерями, но пьезоэлектрические свойства выражены слабее (например, ЦТС-23, PZT-8, ТБК-3). Разработаны также более слабые составы (например, ЦТС-23, PZT-8, ТБК-3) и составы с промежуточными свойствами (ЦТБС-3, ЦТС-19). В качестве материала для ЭАП термоанемометра, к которому предъявляются указанные в п.2.2.1 требования, наиболее подходящей по техническим характеристикам и доступной на рынке, является пьезокерамика с промежуточными свойствами типа ЦТС-19.

Пьезоэлектрический диск — это активный элемент пьезоэлектрического преобразователя большинства представленных типов преобразователей. Величина вибрации и других свойств звука, генерируемых

диском, зависит от свойств диска. Часто используют прием для моделирования, когда пьезоэлектрический диск представляет собой плоский стержень. Этот подход хорош для больших значений отношения длины к радиусу, но для толстых пьезоэлектрических дисков неприменим.

Для пьезоэлектрического диска с конечной толщиной и диаметром не существует режимов, в которых диск вибрирует как плоский поршень, как это предполагается в 1D модели. Вместо этого, существует сложный спектр различных мод колебаний, и характеристики вибрации строго коррелируют с значением диаметр-толщина. Исторически сложилось так, что важная помощь в классификации колебательных мод пьезоэлектрических дисков были их частотные спектры резонанса. Где резонансные частоты дисков показаны как функция отношения толщины-диаметра. С помощью этих функции можно проследить переход от одного режима к другому, в том числе в особых режимах, когда значение толщина-диаметр может быстро измениться. При рассмотрении некоторых дисков, вычисленных из одномерного анализа длинных стержней и тонких дисков необходимо знать резонансные частоты. Несколько различных рабочих классификации колебательных мод в пьезоэлектрических дисках различных отношений толщина-диаметр используются далее.

Увеличение эффективности работы ЭАП достигается оптимизацией его рабочих параметров и геометрических размеров. Выбор рабочей частоты ЭАП определяется его физическими и конструктивными факторами [36]. При возбуждении пьезоэлемента электрическим сигналом в виде нескольких периодов синусоидальных колебаний частотой  $f_s$ , для эффективного излучения необходимо, чтобы собственная (резонансная) частота  $f_p$  продольных колебаний пьезоэлемента совпадала с частотой электрических колебаний:  $f_s = f_p$  – это обеспечивает максимальную амплитуду упругого сигнала при прочих равных условиях. Для уменьшения дифракционных потерь  $n_i$  необходимо увеличивать диаметр пьезопластины и уменьшать угол  $O_{эф}$  путем увеличения частоты колебаний пьезопластины. С увеличением

частоты дифракционное ослабление  $n_i$  падает, но увеличивается ослабление  $n_a$  вследствие поглощения акустического сигнала в воздухе.

Ослабление акустического сигнала определяется известными соотношениями [36]:

$$n_i = (b/r_0)^2 * tg^2 \Theta_{эфф} \quad (3.1)$$

$$n_a = e^{Afb}$$

где  $b$  – база прозвучивания,  $A$  – коэффициент поглощения звука в воздухе.

При этом необходимо учитывать конструктивные ограничения: высота пластины не должна превышать 10 - 20 мм, а диаметр – 10 - 18 мм для обеспечения «ветровой прозрачности» конструкции, то есть ЭАП должен оказывать минимальное искажающее влияние на ветровой поток, в который он помещается (диаметр ЭАП должен быть в 15-20 раз меньше дистанции прозвучивания).

В таблице 3.1 приведены результаты расчетов из соотношений (3.1) величины суммарного ослабления акустического сигнала для пьезокерамической пластины диаметром 18 мм, в таблице 3.2 – для пластины диаметром 10 мм (пластины таких геометрических размеров серийно выпускаются отечественным предприятием «Аврора-Элма» (г. Волгоград) и являются доступными для использования в массовом производстве).

Таблица 3.1 – Расчет коэффициентов ослабления ( $d_0 = 18$ мм)

f, КГц	100	140	160	170	190
$\Theta_{эфф.}$ , град.	9,3	6,7	5,8	5,5	4,9
$n_i$	334	168	128	113	91
$n_a$	1.41	2.19	2.78	3.18	4.23
$n_i * n_a$	471	368	356	360	383

Таблица 3.2 – Расчет коэффициентов ослабления ( $d_0 = 10$  мм)

f, КГц	100	140	160	170	190
$\Theta_{эфф.}$ , град.	17	12	10,5	9,9	8,8
$n_i$	3728	1819	1378	1216	967
$n_a$	1.41	2.19	2.78	3.18	4.23
$N = n_i * n_a$	5561	3984	3836	3863	4093

Из представленных результатов расчетов следует, что при использовании в качестве ЭАП цилиндрической пьезокерамической пластинки марки ЦТС-19 диаметром 10 – 18 мм оптимальная рабочая частота составляет, приблизительно, 160 КГц.

### 3.2 Выбор и расчёт протектора ЭАП.

Для согласования пьезопластины с акустической нагрузкой используется протектор. Протектором называется промежуточный слой, который находится между пьезопластиной и контролируемой средой. Протектор непосредственно контактирует с внешней средой (атмосферным воздухом) и служит также для защиты пьезоэлемента от воздействия агрессивных факторов атмосферы. Поэтому материал, из которого изготавливают протекторы, должен обладать достаточной прочностью, термостойкостью, низкой гигроскопичностью, стабильностью физических характеристик в широком температурном диапазоне.

Использование протектора оказывает существенное влияние на формирование сигналов, излучаемых в среду. Если толщина протектора превышает половину длины волны, излучаемой пьезопластиной, то в протекторе возникают многократно отраженные и разделенные во времени импульсы. Если толщина протектора меньше половины длины волны, то многократно отраженные импульсы отсутствуют, но коэффициент отражения на границе пьезоэлемент - протектор становится зависимым от толщины протектора. При толщине протектора кратной четверти длины волны коэффициент отражения  $R$  акустического сигнала стремится к нулю при выполнении условия [37]:

$$Z_{np} = \sqrt{Z_{возд} * Z_{пл}} \quad (3.2)$$

где  $Z_{np}, Z_{возд}, Z_{пл}$  – акустические импедансы протектора, пьезопластины и воздуха соответственно.

Для нашего случая  $Z_{nl} = 24 \cdot 10^6$  кг/м<sup>2</sup>с (пьезокерамика ЦТС-19),  $Z_{возд} = 4.2 \cdot 10^2$  кг/м<sup>2</sup>с (воздух), соответственно, оптимальный импеданс протектора должен составлять, приблизительно,  $Z_{np} = 10^5$  кг/м<sup>2</sup>с.

Среди твердых материалов, имеющих близкие к расчетному значения импеданса, и соответствующих эксплуатационным требованиям, были отобраны три материала, характеристики которых приведены в таблице 2.3.

Таблица 3.3

Наименование материала	$Z_{np}$ , (кг/м <sup>2</sup> с)	R, относ. единицы
Пенопласт	$7,7 \cdot 10^4$	0,15
Пробковое дерево	$15,09 \cdot 10^5$	0,98
Микросферопласт	$1,01 \cdot 10^5$	$6,65 \cdot 10^{-4}$

Для данных материалов были проведены экспериментальные исследования для определения оптимальной толщины протектора электроакустического преобразователя.

Результаты измерений зависимости величины акустических сигналов (в вольтах), регистрируемых приемным трактом установки, от толщины протектора (в миллиметрах) представлены в таблице 3.4 и на рисунке 3.2.

Таблица 3.4

Толщина материала, мм	2	4	6	8	10	12	14	16	18
пенопласт	2.1	1.7	1.2	1.4	0.9	1.5	1.1	1.4	1.7
Пробковое дерево	2.5	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.7	0.5	0.5
Микросферопласт	1.5	1.7	3.5	2.9	1.9	1.4	1.5	1.5	1.8

## Амплитуды излучаемых сигналов

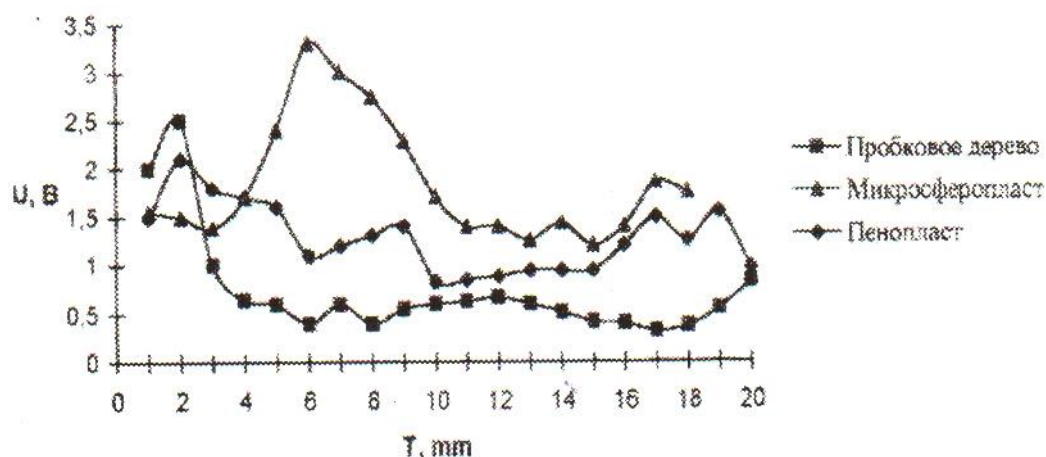


Рисунок 3.2 – Зависимость амплитуды излучаемых акустических импульсов от толщины протектора: 1 – микроферопласт, 2 – пенопласт, 3 – пробковое дерево.

Из проведенных расчетов и экспериментальных исследований следует, что наиболее предпочтительным материалом для изготовления протектора является микроферопласт, который имеет наилучшие акустические характеристики и оптимальные физические свойства: обладает высокой однородностью структуры, негигроскопичен, устойчив к воздействию неблагоприятных атмосферных факторов, легко поддается механической обработке.

Для серийного производства в ЗАО Научно-производственное предприятие «Аквасинт» имени академика В.А.Телегина были заказаны 3 вида микроферопластика (рисунок 3.3): ЭДС-4АП, ЭДС7-АП, ЭДС-450ТЕ, их физико-механические показатели указаны в таблице 3.5. Компания является единственным в России разработчиком рецептур и технологий высокопрочных легковесных композиционных материалов с полым сферическим наполнителем. В течение многих лет основным заказчиком и потребителем материалов, технологии, оборудования и изделий был военно-промышленный комплекс России.



Рисунок 3.3 – Различные виды сферопластиков

Таблица 3.5 – Физико-механические показатели сферопластиков

Наименование показателя	ЭДС-7АП	ЭДС-4АП	ЭДС-450ТЕ
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	480-520	580-620	440-480
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа, не менее	30	65	27
Модуль упругости при сжатии, МПа, не менее	1200	2500	1300
Гидростатическая прочность, МПа, не менее	--	75	27
Скорость звука в материале, м/с	2600	2500	2300

С помощью ультразвукового дефектоскопа была измерена скорость звука в каждом из видов микросферопластика. Далее на токарном станке были изготовлены протектора из каждого материала с толщиной протектора от 3 до 7,2 мм с шагом 0,2 мм (рисунок 3.4).

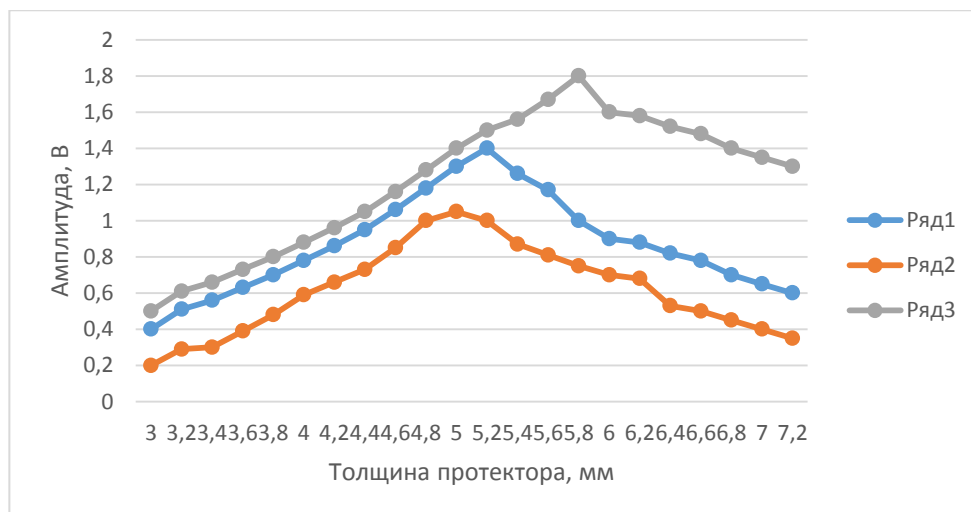


Рисунок 3.4 – Зависимость амплитуды от толщины протектора: 1 – ЭДС-7АП, 2 – ЭДС-4АП, 3 – ЭДС-450ТЕ.

### 3.3 Выбор и расчёт демпфера ЭАП.

Для устранения реверберационных колебаний в ЭАП, уменьшения его собственных шумов и получения коротких ультразвуковых импульсов, близких по форме к видеоимпульсам, применяют демпфирование ЭАП. Для этого пьезоэлемент приклеивают к массивному телу – демпферу, который изготавливают из материала, обладающего акустическим импедансом близким по значению к импедансу пьезопластины, а также большим коэффициентом затухания ультразвуковых волн на рабочей частоте.

Жесткая связь с демпфером приводит к тому, что после окончания действия возбуждающего электрического (в излучателе) или принимаемого ультразвукового (в приемнике) импульса свободные колебания пьезоэлемента быстро затухают, причем тем быстрее, чем меньше разница между акустическими импедансами демпфера и пьезопластины. Большой коэффициент затухания обеспечивает отсутствие сигналов, отраженных от противоположной поверхности демпфера, то есть уменьшает уровень собственных шумов преобразователя. (Главной причиной этих шумов является длительная реверберация ультразвуковых колебаний в демпфере из-за недостаточно высокого коэффициента затухания ультразвука в материале демпфера или малых размеров последнего по отношению к длине волны.)

Предел уменьшения длительности ультразвуковых импульсов, излучаемых полуволновыми пьезоэлементами с механическими демпферами теоретически составляет один период колебаний собственной частоты пьезопластины. Этот предел достигается в случае равенства импедансов демпфера и пьезопластины.

Импедансом, близким к импедансу пьезопластины, обладает ряд металлов и сплавов. Но использование металлов в качестве демпферов ограничено малым коэффициентом затухания ультразвука, который не могут компенсировать даже специальными рассеивателями, установленными на противоположенной стороне демпфера. Кроме того, сильное различие температурных коэффициентов расширения металла и пьезокерамики



ограничивает температурный диапазон работоспособности преобразователя. Тем не менее, известны случаи использования в качестве материалов для демпфера латуни и бронзы. Неплохие результаты получены при использовании в качестве демпфирующей массы компаунда из галлия, олова, никеля с вольфрамовым наполнителем с импедансом  $25 \cdot 10^6$  кг/м<sup>2</sup> с.

В таблице 3.6 приведены результаты расчета толщины демпферов, изготовленных из различных материалов, из условия, что при прохождении ультразвука от пьезопластины до верхней грани демпфера и обратно, сигнал ослабляется в  $10^5$  -  $10^6$  раз.

Таблица 3.6 – Характеристики демпферов

Материал демпфера	Импеданс $Z_0 \cdot 10^6$ , кг/м <sup>2</sup> с.	Коэффициент затухания $\delta \cdot 10^4$ , м <sup>-1</sup>	Толщина демпфера, мм
Фенопласт +W-90%	10,2	41,7	34
Фенопласт +W-95%	15,25	43,4	30
Олово, никель галлий +W-50%	25,2	37,5	45
Олово, никель галлий +W-70%	25,5	40,5	37
Эпоксидная смола+W-30%	24,7	40,1	37,8
Вольфрам, олово +W-30%	27,4	38,8	43
Эпоксидная смола с отвердителем +W	24,3	40	30

Из таблицы видно, что наименьшей толщиной обладает демпфер, изготовленный из фенопласта с вольфрамовым наполнителем. Однако, вследствие различия значений импедансов, длительность ультразвуковых импульсов в таком ЭАПе будет составлять 3-4 периода собственных

колебаний пластины. Для уменьшения длительности ультразвукового импульса в материал демпфера включают металлические сплавы, однако в нашем случае это недопустимо из-за большого различия температурных коэффициентов расширения металлов и пьезокерамики ЦТС-19.

В настоящее время в качестве материалов для демпфера используют различные смолы и компаунды с порошкообразным наполнителем. В качестве наполнителя может выступать свинцовый сурик (для придания демпферной массе большей эластичности), резиновая крошка, порошок железа (для увеличения коэффициента поглощения), а также эпоксидная смола, смешанная с наполнителем из мелкодисперсного порошка вольфрама [38-40]. Применение такого демпфера технологично и позволяет в широких пределах варьировать его акустический импеданс путем изменения весового соотношения смолы и вольфрамового порошка. В [39]. приведены результаты исследований демпферной массы, приготовленной по следующему составу (в массовом соотношении компонентов):

Эпоксидная смола	99-101
Дибутилфталат	125-155
Метилтетрагидрофталевого ангидрит	0,01-5
Порошок вольфрама	685-695

Данный состав обладает затуханием порядка 50-60 дБ при частоте ультразвука в нем 20-200 кГц.

В таблице 3.7 приведены результаты измерений плотности, скорости ультразвуковых колебаний для такого компаунда с разными весовыми содержаниями порошка вольфрама.

Таблица 3.7 – Демпфирующие массы с различным содержанием вольфрама.

Добавки вольфрама, %	Плотность $\rho \cdot 10^3$ , кг/м <sup>3</sup>	Скорость звука, м/с	Удельный акустический импеданс $Z_0 \cdot 10^6$ , кг/м <sup>2</sup> с
5	5,7	3300	18,8

10	6,2	3100	19,2
20	6,8	2900	19,7
30	7,5	2750	20,6
40	7,9	2600	23,1
50	10,3	2450	25,2
60	11,0	2300	25,3
70	11,6	2200	25,5

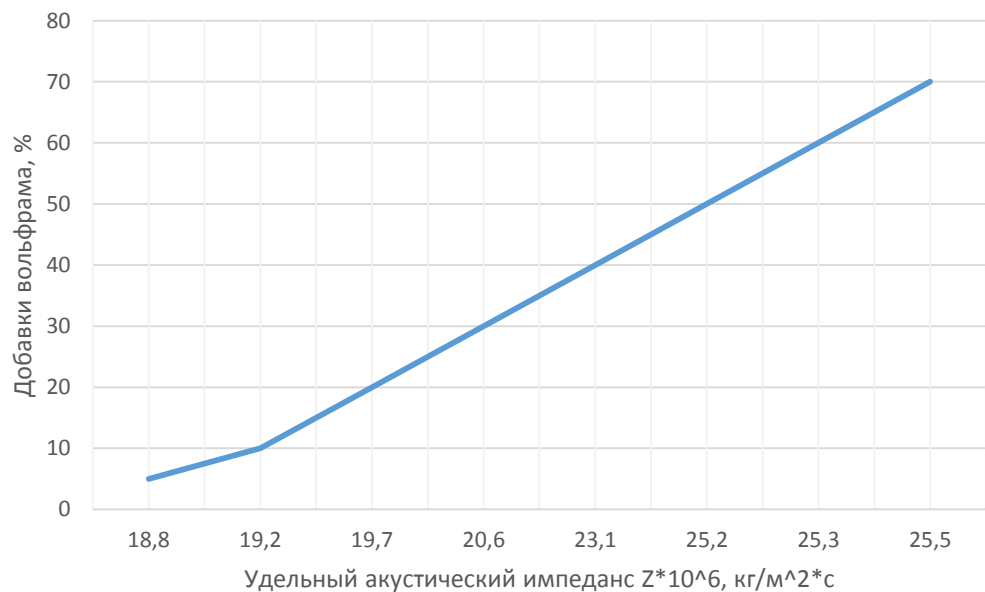


Рисунок 3.5 – Зависимость удельного акустического импеданса от процентного содержания вольфрама

Как видно из таблицы, оптимальная добавка вольфрама находится в пределах 40-50%. Дальнейшее повышение процентного содержания наполнителя приводит при незначительном увеличении удельного акустического импеданса  $Z_0$  к существенному увеличению вязкости и неоднородности всей массы, что крайне осложняет технологию изготовления ЭАПа и ухудшает его прочностные характеристики.

### 3.4 – Конструкция электроакустического преобразователя для термоанемометра.

В пп. 3.1 – 3.3 настоящей работы были подробно изложены требования к конструкции электроакустического преобразователя и приведены результаты расчетов и экспериментальные данные, на основании которых можно сконструировать ЭАП, оптимальный с точки зрения предъявленных к термоанемометру требований.

Внешний вид электроакустического преобразователя, выполненного по схеме, приведенной на рисунке 3.1, представлен на рисунке 3.6.



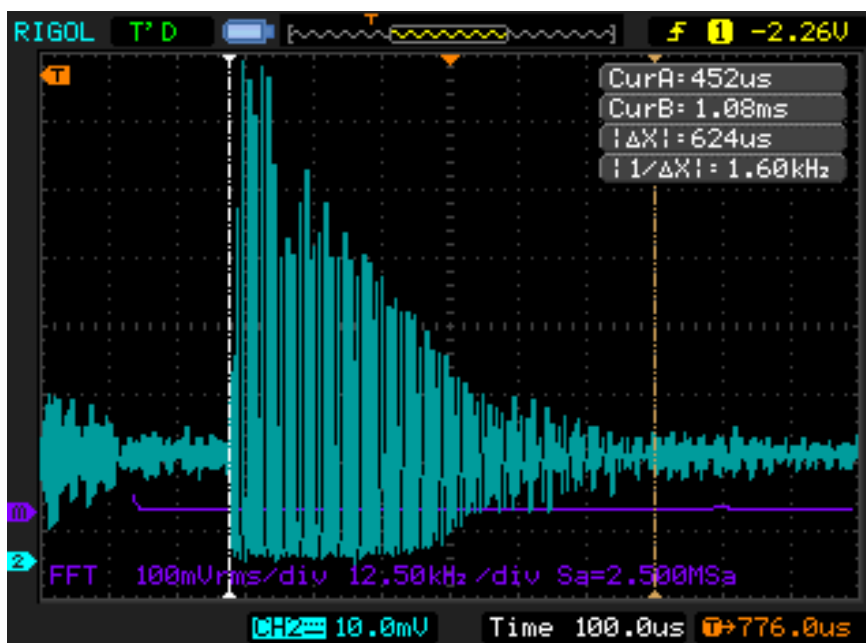
Рисунок 3.6 – Электроакустический преобразователь

В данном электроакустическом преобразователе в качестве пьезоэлемента использована пьезокерамика ЦТС-19 (плотность  $\rho = 7,45 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, скорость звука 3000-3600 м/с, импеданс  $Z_I = 24 \cdot 10^6$  кг/м<sup>2</sup>с). Пьезоэлемент имеет форму цилиндра диаметром  $d = 12$  мм и высотой  $h = 10$  мм. Рабочая частота колебаний – 100 - 109 кГц.

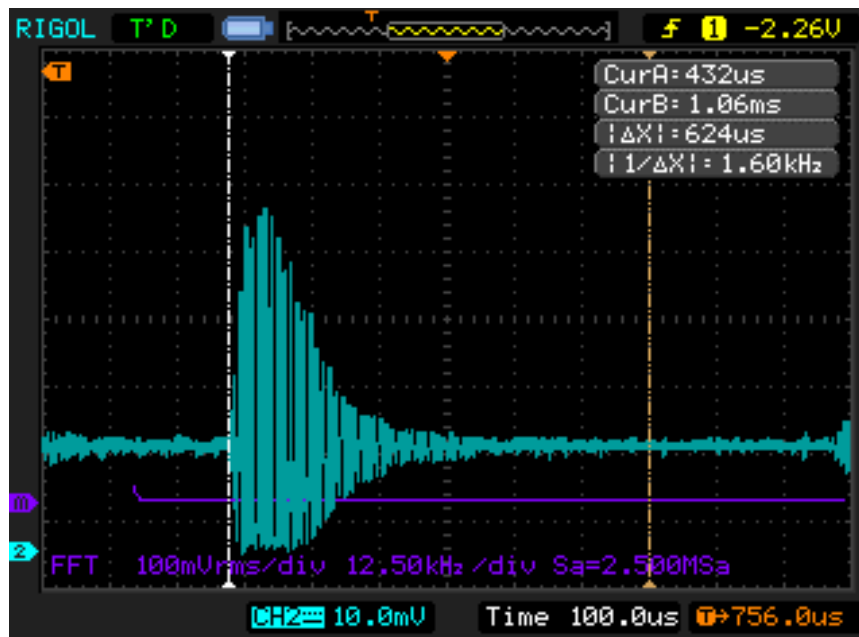
Материалом демпфера служит эпоксидная смола ЭД-20 с 50% добавкой вольфрама (импеданс  $27,4 \cdot 10^6$ , кг/м<sup>2</sup>с). Длина демпфера составляет 10 мм, так как конструкция ультразвуковой измерительной головки не позволяет сделать его больше. При таком демпфере длительность

ультразвуковых импульсов, излучаемых преобразователем составляет 150 микросекунд, что является вполне допустимым для проведения измерений при размещении электроакустических преобразователей на расстоянии 75 мм друг от друга.

Протектор изготавливается из микросферопласта ЭДС-7АП (импеданс  $1,2 \cdot 10^7$  кг/м<sup>2</sup> с). Он является хорошим согласующим материалом между пьезоэлементом и воздушной средой, кроме того он негигроскопичен, хорошо противостоит эффекту обледенения и налипания снега, сохраняет свои свойства в широком диапазоне температур. Оптимальная толщина протектора составляет 5 до 5,5 мм и подбирается при сборке электроакустического преобразователя индивидуально.



a)



б)

Рисунок – длительность реверберационных колебаний: а) без демпфера, б) с демпфером 10 мм

## Глава 4. Экспериментальные исследования

### 4.1 Исследование зависимости чувствительности измерительного канала от скорости воздушного потока

При проведении исследования выяснилось, что основная причина невозможности работы термоанемометра при скорости ветрового потока выше 30 м/с, это уменьшение амплитуды сигнала вследствие:

- возникновения турбулентных потоков внутри измерительной головки, за счёт огибания ветровым потоком самой конструкции;
- отклонения диаграммы направленности в результате воздействия ветрового потока.

Для увеличения амплитуды сигнала рассмотрены три варианта, это:

- 1) Улучшение акустическое согласование пьезокерамики с воздухом за счёт подбора наилучшего материала для протектора;
- 2) Уменьшение расстояния между ЭАП;
- 3) Повышение напряжения на излучателе.

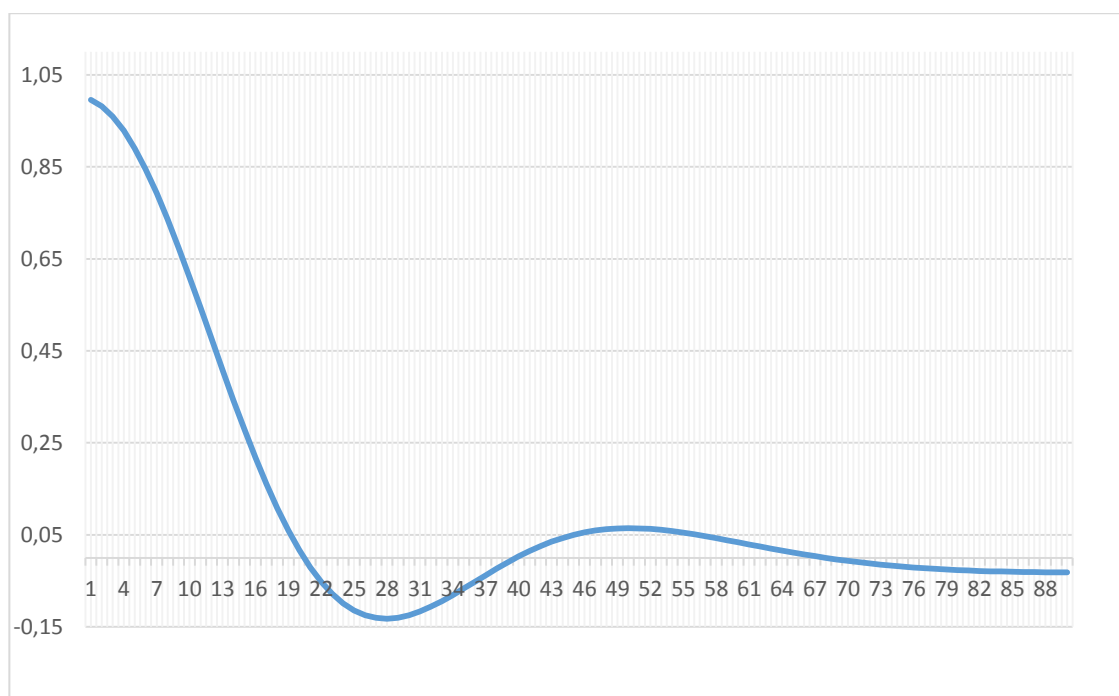


Рисунок 4.1 – диаграмма направленности ЭАП с пьезопластиной 12мм

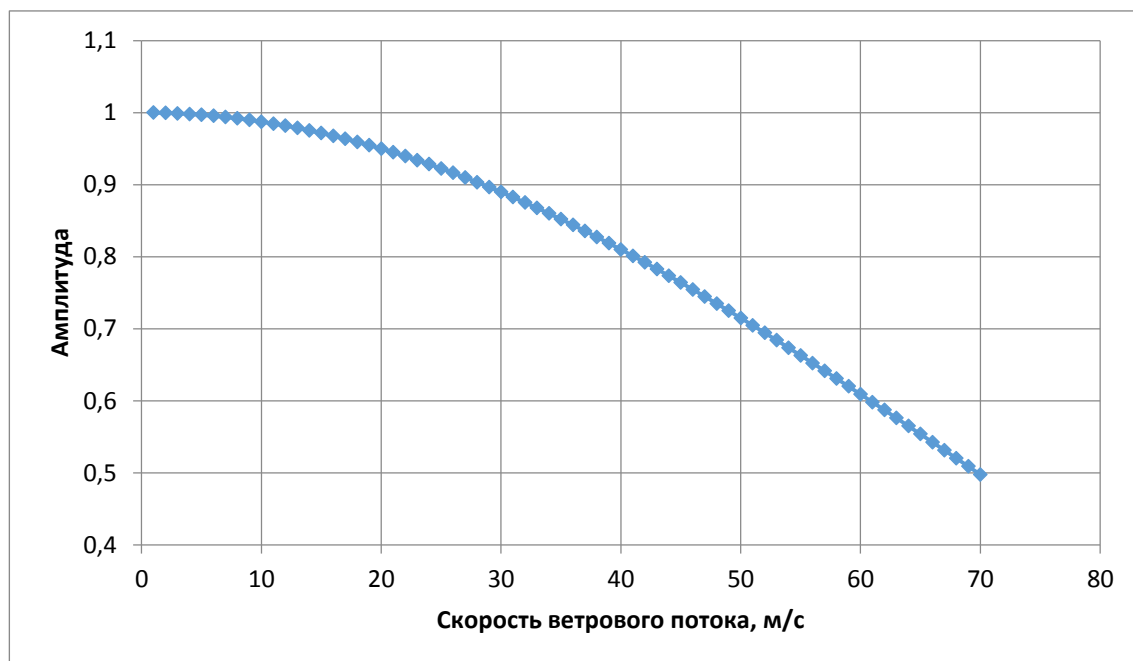


Рисунок 4.2 – Зависимость амплитуды от скорости ветрового потока.



Рисунок 4.3 – УГИ-140 (с лева) и УГИ-75 (с права)

Для уменьшения расстояния между ЭАП была разработана новая конструкция термоанемометра УГИ-75, расстояние между ЭАП стало составлять 75 мм. После этого были измерены амплитуды первого выброса на приёмниках, результаты приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Амплитуды первого выброса на расстояниях 140 мм и 75 мм



Амплитуда первого выброса на расстоянии 140 мм, мВ	Амплитуда первого выброса на расстоянии 75 мм, мВ
100	170
104	177
100	170
108	184
92	156
108	184
106	180
100	170
116	197
106	180
108	184
104	177
108	184
120	204
108	184

Как видно из таблицы это дало прирост амплитуды в 1,7 раз. После проверки УГИ-75 в ветровой трубе выяснилось, что термоанемометр стал проводить измерения при скорости ветрового потока 40 м/с.

Для измерения зависимости чувствительности тракта от величины напряжения на излучателе были проведены измерения для амплитуд до 640В.

Условие проведения эксперимента: расстояние между приёмником и излучателем 140мм, амплитуда первого выброса на приёмнике при 180В на излучателе составляла 110мВ.

Таблица 4.2 – зависимость между напряжением на излучателе и амплитудой первого выброса на приёмнике и длительностью реверберационных колебаний.

Напряжение на излучателе, В	Амплитуда первого выброса на приёмнике, мВ	Длительность реверберационных колебаний, мкс
340	210	438
360	220	438
380	230	438
400	240	438
420	250	438

440	260	438
460	270	438
480	280	438
500	290	438
520	300	438
540	310	438
560	320	438
580	330	438
600	340	438

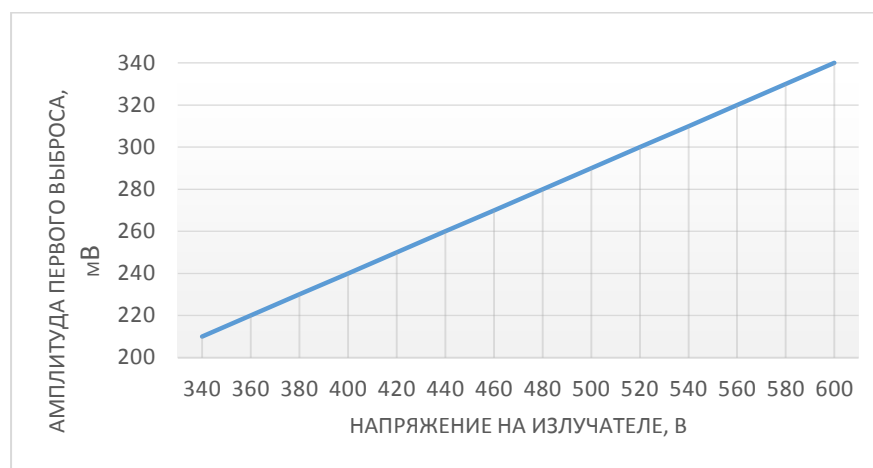
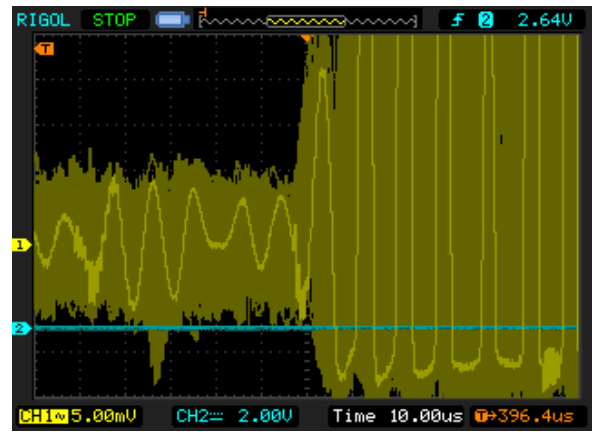
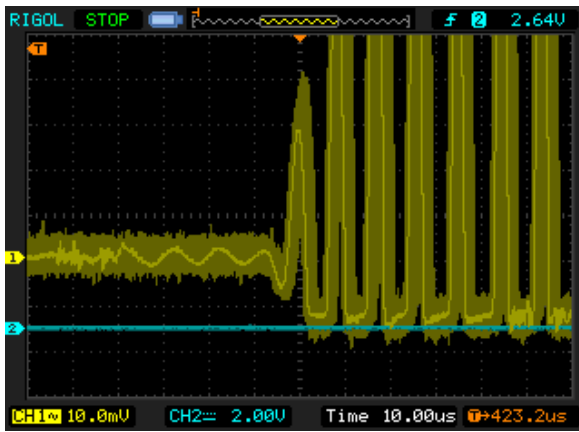


Рисунок 4.4 – зависимость между напряжением на излучателе и амплитудой первого выброса на приёмнике

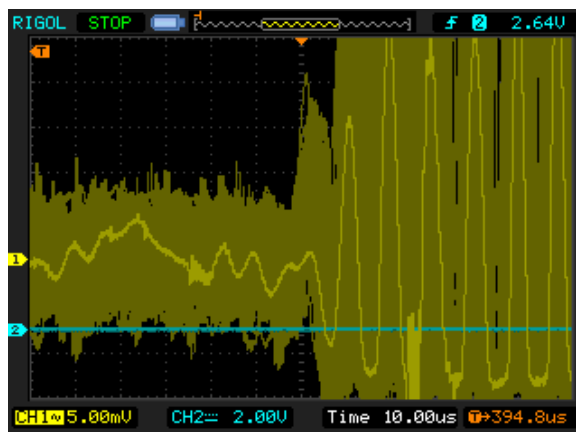
В результате эксперимента было установлено что, при повышении напряжения на излучателе ЭАП, амплитуда первого выброса на приёмнике изменяется по линейному закону. Увеличение напряжения излучателя на 20В даёт прирост амплитуды на 10мВ. Длительность реверберационных колебаний с увеличением напряжения не изменяться.

При проверке в ветровой трубе было показано, что амплитуды первого выброса для функционирования метеокомплекса до скоростей не менее 80 м/с.



a)

б)



в)

Рисунок 4.5 – Сигнал с приёмника ЭАП при скорости ветрового потока: а) 20 м/с, б) 60 м/с, в) выше 80 м/с; напряжение на излучателе 640 В.

## Глава 5. Социальная ответственность

К социальной ответственности относятся соблюдение трудовой дисциплины, своевременная оплата труда, обеспечение льготами работников вредных производств, предоставление отпуска и многие другие мероприятия, регулируемые законодательством.

Основным и одним из самых важных условий обеспечения социальной ответственности при осуществлении работы любого предприятия является выполнение основ безопасности. Обеспечение социальной ответственности на предприятии - это совокупность мероприятий организационного и технического характера, которые направлены на предотвращение на производстве несчастных случаев и на создание безопасных условий труда.

С целью обеспечения охраны труда на предприятиях прикладываются все усилия для того, чтобы сделать труд работающих людей безопасным, а как итог, большие средства выделяются именно для осуществления этих целей.

Со своей стороны, работник должен пройти инструктаж и подписать соответствующие документы, обязывающие его соблюдать меры предосторожности и регламент технологического процесса.

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Рассмотрено рабочее место в Институте Мониторинга Климатических Систем СО РАН в городе Томск в котором проводились научно-исследовательские работы по теме магистерской диссертации. Работа проводилась в лаборатории экологического приборостроения, с использованием электроакустических преобразователей, осциллографа и персонального компьютера с прилагающимися периферийными устройствами.

## **5.1 Производственная безопасность**

### **5.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования.**

Объектом исследования данной выпускной квалификационной работы является электроакустический преобразователь. Основным вредным фактором, который может создать объект исследования, является электромагнитное поле (ЭМП) и ультразвуковое излучение.

Электромагнитное излучение нельзя увидеть, услышать, понюхать, попробовать на вкус или потрогать, но, тем не менее, оно присутствует повсюду. Его создают две большие группы искусственных источников:

- изделия, которые специально создавались для излучения электромагнитной энергии: радио- и телевизионные вещательные станции, различные системы радиосвязи, мобильные телефоны, радиолокационные установки, физиотерапевтические аппараты, технологические установки в промышленности;

- устройства, предназначенные не для излучения электромагнитной энергии в пространство, а для выполнения какой-то иной задачи, но при работе которых протекает электрический ток, создающий паразитное излучение ЭАП, а именно к таким устройствам относятся приборы, с которыми работают операторы акустического контроля.

Излучаемые этими устройствами электромагнитные поля вместе с естественными полями Земли и Космоса создают сложную и изменчивую электромагнитную обстановку. В результате суммарная напряженность ЭМП в различных точках земной поверхности может увеличиться в миллионы раз по сравнению с естественным фоном. Одним из ведущих факторов внешнего воздействия является – электромагнитное поле, генерируемое компьютером, а также контрольно – измерительными приборами.

Нормируемым параметром электрического поля является напряженность электрического поля (E) в кВ/м, магнитного поля -

напряженность магнитного поля (H) в А/м или индукция магнитного поля (B) в мкТл, в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.002-99 "ССБТ. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах" и СанПиН 2.2.1340-03. Напряжённость электрического поля в диапазоне частот 5Гц...2кГц -25В/м, в диапазоне частот 2кГц...400кГц - 2,5В/м Плотность магнитного потока в диапазоне частот 5Гц...2кГц - 250нТл, в диапазоне частот 2кГц...400кГц - 25нТл.

Для снижения действия электромагнитных полей соблюдать оптимальное устройство контура заземления; оптимальную разводку питающей сети; верно планировать помещения; проводить влажные уборки помещения с ПЭВМ (вследствие чего увеличивается уровень электростатического поля); снизить наличие посторонних источников электромагнитных полей в помещении.

### **5.1.2 Анализ вредных и опасных факторов при проведении исследований**

При проведении исследований могут действовать следующие вредные факторы:

- а) ультразвуковое излучение
- б) некомфортные метеорологические условия;
- в) недостаточная освещенность;
- г) производственный шум;

#### ***Ультразвуковое излучение***

Ультразвук представляет собой механические колебания упругой среды с частотой, находящейся за пределом порога слышимости (свыше 20000 Гц). Инфразвуком называют механические колебания с частотой ниже 16 Гц.

Ультразвуковые колебания подразделяются на низкочастотные (до 100000 Гц), распространяющиеся воздушным и контактным путем, и

высокочастотные (свыше 100000 Гц), распространяющиеся только контактным путем. В упругих средах (вода, металл и др.) ультразвук мало поглощается и способен распространяться на большие расстояния, практически не теряя энергии.

Работа ультразвукового оборудования и аппаратуры сопровождается распространением в окружающей среде ультразвуковых и звуковых колебаний. Вредному воздействию может подвергаться не только персонал, имеющий непосредственный контакт с оборудованием или находящийся в зоне распространения ультразвуковой волны, но также и все работающие в помещении в результате возникновения высокочастотного шума.

Длительное воздействие ультразвука и сопровождающего его высокочастотного звука или шума вызывает функциональные нарушения нервной и сердечно-сосудистой систем, слухового, вестибулярного аппарата, сопровождающихся утомлением, головной болью, расстройством сна, изменением давления, свойств крови, снижением остроты слуха и т.п. При длительном контакте с жидкостью, деталями, ультразвуковым инструментом может появиться снижение чувствительности кистей рук и чувство онемения в пальцах. Эти явления нестойки и, как правило, исчезают после прекращения работы на ультразвуковом оборудовании.

Основными документами, регламентирующими безопасность при работе с ультразвуком, являются ГОСТ 12.1.001 ССБТ. «Ультразвук. Общие требования безопасности» и ГОСТ 12.2.051 ССБТ. «Оборудование технологическое ультразвуковое. Требования безопасности.

Защитные мероприятия от ультразвука, передаваемого воздушным путем, аналогичны мероприятиям защиты от шума: звукоизоляция оборудования, применение звукопоглощающих и отражающих устройств (применение звукоизолирующих кожухов, экранов, изолирующих стенок, кабин, звукопоглощающих облицовок), размещение ультразвукового оборудования в отдельном помещении и др.

При эксплуатации ультразвукового оборудования всех видов должен быть полностью исключен непосредственный контакт рук работающего с жидкостью, ультразвуковым инструментом и обрабатываемыми деталями, в которых возбуждаются ультразвуковые колебания. Если это невозможно по технологическим причинам, то все работы должны выполняться с соблюдением специальных мер (закрепление деталей с помощью специальных приспособлений и др.)

Контактное воздействие ультразвука исключается при автоматизации производственных процессов, применении дистанционного управления, технических средств фиксации источника ультразвука относительно обрабатываемой детали, нанесении виброизолирующих покрытий на ручки ультразвукового оборудования.

Используемые средства индивидуальной защиты - противошумовые наушники, вкладыши, резиновые

#### ***Метеорологические условия***

Научные исследования, проводимые в ходе подготовки магистерской диссертации, согласно СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы», относятся к категории работы I<sub>a</sub> с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), т.к. работы проводились в основном сидя и сопровождались незначительными физическими напряжениями.

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в



течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочем месте соответствуют величинам, приведенным в таблице 1, применительно к выполнению работ категории I<sub>a</sub> в холодный и теплый периоды года.

Таблица 1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относит. влажность воздуха, %	Скорость движения, м/с
Холодный	I <sub>a</sub>	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0.1
Теплый	I <sub>a</sub>	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0.1

Для оптимизации микроклимата и состава воздуха на рабочих местах должны быть обеспечены надлежащий воздухообмен и отопление, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов. Для повышения влажности воздуха в помещении рекомендуется применять увлажнители воздуха.

#### ***Недостаточная освещенность***

При проведении исследований должны применяться системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Выбор между равномерным и локализованным освещением проводится с учётом особенностей производственного процесса и размещения технологического оборудования. Система комбинированного освещения применяется для производственных помещений, в которых

выполняются точные зрительные работы. Применение одного местного освещения на рабочих местах не допускается.

Основными нормируемыми показателями являются освещенность на рабочем месте, общий индекс цветопередачи, коэффициент пульсаций освещенности. Лаборатории общего назначения с использованием электронных устройств имеют следующие нормы: освещенность 400 лк согласно нормам (СП 52.13330.2011).

В качестве источников света для искусственного освещения помещения используются люминесцентные лампы, которые обладают большим сроком службы и высокой световой отдачей.

Благодаря этому, на рабочей поверхности отсутствуют резкие тени, которые создавали бы неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажало бы размеры и формы объектов различия, в результате чего повышалась бы утомляемость и снижалась производительность труда.

### ***Повышенный уровень шума***

Шум — один из наиболее распространенных неблагоприятных факторов производственной среды. Источниками звуков и шумов являются вибрирующие тела. Основные производственные процессы, сопровождающиеся шумом, — это клепка, штамповка, испытание авиамоторов, работа на ткацких станках и др. Основными источниками шума при выполнении данной работы являются: компьютер, принтер, осциллограф, вытяжка, токарный станок и гидравлический пресс.

Говоря о действии шума на организм, следует иметь в виду, что он оказывает как местное, так и общее воздействие. При этом учащается пульс, дыхание, повышается артериальное давление, изменяются двигательная и секреторная функции желудка и других органов. Неблагоприятно отражается шум на нервной системе, вызывая головные боли, бессонницу, ослабление внимания, замедление психических реакций, что в конечном счете приводит к понижению работоспособности.

Допустимый уровень шума ограничен СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.

Уровень шума в рабочем помещении, оснащённом всей необходимой контрольно-измерительной аппаратурой, применяемой для проведения акустического контроля не должен превышать значений 60 дБА. (по ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ)

Снизить уровень шума в помещении можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки помещений, подтвержденных специальными акустическими расчетами. Дополнительным звукопоглощением служат однотонные занавеси из плотной ткани, гармонирующие с окраской стен и подвешенные в складку на расстоянии 15 – 20 см от ограждения. Ширина занавеси должна быть в 2 раза больше ширины окна.

### ***Электрический ток***

Наиболее опасным видом поражения является электрический удар, который действует на мозговые центры, вызывает нарушение физиологических процессов сердечной деятельности, паралич.

Опасность поражения электрическим током зависит от:

- напряжения и силы тока;
- частоты тока;
- путей прохождения тока через организм человека;
- продолжительности воздействия на организм и состояния здоровья человека.

Безопасным для человека считается ток напряжением до 36 В. Ток напряжением до 60 Вт вызывает болезненное раздражение кожи и ожоги, свыше 100 Вт ток является опасным для жизни человека.

Предусматривают следующие меры защиты персонала от электрического тока:

1. Обеспечение недоступности электрических сетей. Обеспечивается следующими способами: изоляцией, местом расположения, защитой металлической трубой.

2. Контроль за неисправностью изоляции.

3. Заземление металлических нормально нетоковедущих частей электрооборудования.

4. Знание правил техники безопасности и пользование защитными средствами.

При поражении человека электрическим током нужно его вынести на воздух, сделать искусственное дыхание.

Система мероприятий, направленных на нейтрализацию атмосферного электричества называется молниезащитой. Сооружения II категории от прямых ударов молнии защищаются молниеотводами, устанавливаемыми непосредственно на защищенном объекте. В качестве молниеприемника используют металлическую крышу с установкой спусков к заземлению не реже чем через 15-20 м по периметру.

Предлагаемыми средствами коллективной защиты от данного опасного фактора являются: информационные таблички, размыкатели и встроенная в генераторе система отключения при коротком замыкании, защитное заземление [ГОСТ 12.1.030 -81. Защитное заземление, зануление]. В качестве средства индивидуальной защиты должны использоваться диэлектрические перчатки.

## **5.2 Экологическая безопасность**

В современном понимании экология определяется как наука об отношениях организма или групп организмов к окружающей их среде, или как наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания. Экологическим загрязнением в узком смысле слова называется

внесение в какую-либо среду, не характерное для неё химических, физических и биологических компонентов.

По классификации загрязнений предложенной американским учёным Парсоном, существуют следующие типы загрязнений:

- Сточные воды.
- Минералы, неорганические кислоты и соли.
- Органические кислоты и соли.
- Твёрдый сток.
- Вещества, имеющие питательную ценность для растений.
- Радиоактивные вещества.
- Носители инфекции.

При работе с ЭАП не используется никаких веществ (минералов, неорганических кислот и солей, радиоактивных веществ, и веществ имеющих питательную ценность для растений), и не происходит никаких промышленных выбросов в атмосферу, также не образуется никаких сточных вод. Нет и промышленных твёрдых отходов а, следовательно, и нет необходимости в Санитарной очистке промышленных выбросов. Проведение поверки не нарушает требований к средствам контроля и измерения. [ГОСТ 22261-94]. Таким образом, сама эта деятельность не оказывает никакого вредного воздействия на окружающую среду.

### **5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

Так как при исследовании ЭАП нет горючих веществ, то опасность пожара и взрыва сведена к минимуму. Однако при работе с электрическими приборами эта возможность не исключена, поэтому рабочее место должно соответствовать требованиям пожарной безопасности. [ГОСТ 12.1.004-91.]

Наиболее вероятной причиной пожара является неисправность электрооборудования и электросетей. При эксплуатации приборов возможны возникновения следующих аварийных ситуаций: короткие замыкания,

перегрузки, повышение переходных сопротивлений в электрических контактах, перенапряжение, возникновение токов утечки. При возникновении аварийных ситуаций происходит резкое выделение тепловой энергии, которая может явиться причиной возникновения пожара. Для снижения вероятности возникновения пожара необходимо проводить различные профилактические мероприятия:

- Организационные – правильная эксплуатация электрооборудования, правильное содержание зданий и помещений.

- Технические – соблюдение противопожарных правил и норм, норм при проектировании зданий, при устройстве отопления, вентиляции освещения, правильное размещение оборудования.

- Мероприятия режимного характера – запрещение курения в неустановленных местах и т.д.

- Эксплуатационные – своевременные профилактические осмотры и ремонт неисправного электрооборудования.

Для снижения вероятности возникновения и распространения пожара на ранней стадии необходимо:

- установить пожарную сигнализацию с системой оповещения работников, дежурного по объекту и, желательно, автоматическое оповещение противопожарных служб;

- иметь в наличии несколько ручных углекислотных огнетушителей (например, огнетушители марки ОУ-3);

### ***Порядок действий при пожаре***

В случае возникновения признаков пожара необходимо:

- сообщить о возникновении пожара в пожарную охрану, поставить в известность руководство и дежурные службы объекта;

- в случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение, используя для этого имеющиеся силы и средства;

- проверить включение в работу автоматических систем противопожарной защиты (оповещения людей о пожаре, пожаротушения, противодымной защиты);

- при необходимости отключить электроэнергию (за исключением систем противопожарной защиты), остановить работу транспортирующих устройств, агрегатов, аппаратов, перекрыть сырьевые, газовые, паровые и водяные коммуникации, остановить работу систем вентиляции в аварийном и смежном с ним помещениях, выполнить другие мероприятия, способствующие предотвращению развития пожара и задымления помещений здания;

- прекратить все работы в здании (если это допустимо по технологическому процессу производства), кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара;

- удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара;

- осуществить общее руководство по тушению пожара (с учетом специфических особенностей объекта) до прибытия подразделения пожарной охраны;

- обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара;

- одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей;

- организовать встречу подразделений пожарной охраны и оказать помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара;

- сообщать подразделениям пожарной охраны, привлекаемым для тушения пожаров и проведения связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, сведения о перерабатываемых или хранящихся на объекте опасных (взрывоопасных), взрывчатых, сильнодействующих ядовитых веществах, необходимые для обеспечения безопасности личного состава.

По прибытии пожарного подразделения руководитель организации (или лицо, его замещающее) информирует руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых веществ, материалов, изделий и других сведениях, необходимых для успешной ликвидации пожара, а также организует привлечение сил и средств объекта к осуществлению необходимых мероприятий, связанных с ликвидацией пожара и предупреждением его развития.

#### **5.4 Организационные вопросы обеспечения безопасности.**

##### ***Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны***

При компоновке рабочего места с контрольно-измерительной аппаратурой, применяемой для исследования ЭАП, соблюдены следующие требования [15]:

1. расстояние между рабочими столами с осциллографами не менее 2.0 м, а расстояние между боковыми поверхностями осциллографов – не менее 1.2 м;
2. рабочее место размещено в изолированном кабинете с организованным воздухообменом, так как на предприятии присутствуют источниками вредных производственных факторов;
3. экран осциллографа находится от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм и не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов;
4. конструкция рабочего стола обеспечивает оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы;
5. конструкция рабочего стула обеспечивает поддержание рациональной рабочей позы при работе с контрольно-измерительными



аппаратурами, позволяет изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления;

6. поверхность сиденья, спинки и других элементов стула является полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием;

7. температура воздуха в помещении допускается в пределах 20-25°C при относительной влажности до 75 %; резкие перепады температуры не допускаются;

8. не допускается излишняя запыленность воздуха в помещении (не более 1 мг/м<sup>3</sup> при максимальном размере частиц 3 мкм); обязательна влажная ежедневная уборка помещения.

## **Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Объектом исследования является радиоизотопный толщиномер для карбидокремниевого покрытия.

## 6.1 Предпроектный анализ

### 6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Потенциальные покупатели АМК – предприятия, выпускающие: авиационное оборудование, оборудование для нефтехимии, космическое и нефтепромышленное оборудование.

Месторасположение		точность	стоимость
	Крупные (производство, предприятия...)	A, D	B
	Средние (магазин, университет...)	A,D	B
	Мелкие (жители, ...)	C	B, C

A. ГУ "Томский ЦГМС"; B. ОАО "Красноярская УГР";

C. МЧС Томск; D. ВВС;

Рисунок 6.1 – Карта сегментирования потенциальных потребителей АМК

### 6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проводился при помощи оценочной карты, приведенной в таблице 6.1. Для этого в качестве конкурентных приборов для определения толщины были выбраны:

1. Преобразователь метеоданных Vaisala WXT520;
2. Преобразователь метеоданных Vaisala WMT52.

Таблица 6.1 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	3	2	0,5	0,3	0,2
2. Помехоустойчивость	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
3. Энергоэкономичность	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
4. Безопасность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
5. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
6. Простота эксплуатации	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
7. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	3	4	3	0,21	0,28	0,21
8. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	4	0,4	0,5	0,4
3. Цена	0,03	5	3	4	0,12	0,15	0,15
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	4	4	4	0,08	0,08	0,08
5. Наличие сертификации разработки	0,05	2	4	4	0,1	0,2	0,08
Итого	1	58	49	46	4,61	3,91	3,87

В целом, решения, применяемые в АМК, делают её наиболее современной моделью среди аналогов на данный момент и позволят

сохранить актуальность в течение ближайших 2-3 лет, необходимых для начала продаж и получения уверенной прибыли.

## 6.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Его применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Результаты первого этапа SWOT- анализа представлены в таблице.

Таблица 6.2 - Матрица SWOT Таблица

<b>Сильные стороны научного проекта:</b> С1. Высокая степень достоверности и точности, полученных в ходе проведения измерений; С2. Более высокая скорость проведения измерений; С3. Быстрое получение данных; С4. Экологичность технологии.	<b>Слабые стороны научного проекта:</b> Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки; Сл2. Сложность изготовления ЭАП.
<b>Возможности:</b> В1. Увеличение финансирования; В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт; В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	<b>Угрозы:</b> У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования; У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства; У3. Развитая конкуренция технологий производства.

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными

комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT и выявить стратегию изменения. Результаты второго этапа приведены в таблице 3.

Таблица 6.3 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	+	+	+	+
	B2	-	+	0	-
	B3	-	0	+	-
Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1		Сл2	
	B1	+		+	
	B2	-		-	
	B3	-		-	
Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	0	-	-	+
	У2	+	+	+	+
	У3	0	+	0	+
Слабые стороны проекта					
Угрозы проекта		Сл1		Сл2	
	У1	0		+	
	У2	+		+	
	У3	-		-	

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая представлена в таблице 4.

Таблица 4 - SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-</b>	<b>Слабые стороны научно-</b>
--	------------------------------------	-----------------------------------

	<p><b>исследовательского проекта:</b>  С1. Высокая степень достоверности и точности, полученных в ходе проведения измерений;  С2. Более высокая скорость проведения измерений;  С3. Быстрое получение данных;  С4. Экологичность технологии.</p>	<p><b>исследовательского проекта:</b>  Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки;  Сл2. Сложность изготовления ЭАП.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Увеличение финансирования;  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт;  В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p>В1С1С2С3С4:  Усовершенствование данного прибора для увеличения спроса и внедрения его на рынок.</p>	<p>В1Сл1Сл2:  Для создания прототипа научной разработки и разработки технологии производства ЭАП необходимо увеличить финансирование научно-исследовательских работ.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования;  У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У3. Развитая конкуренция технологий производства.</p>	<p>У2С1С2С3С4:  Продвижение продукта и акцентирование на достоинствах.</p>	<p>У2Сл1Сл2:  Если удастся создать прототип научной разработки и разработать технологию производства ЭАП, то угрозы снижения спроса на новую продукцию возможно предотвратить.</p>

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта.

### 6.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В таблице представлена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Данная таблица позволяет оценить степень готовности разработки к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

При оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 6.5 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний разработчика у
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	2
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	2
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	2



6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	1
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	2	1
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	2
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	2
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	4
15	Проработан механизм реализации научного проекта	2	2
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>33</b>	<b>30</b>

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется суммарным количеством баллов. Таким образом, перспективность научного проекта к коммерциализации оценивается как ниже среднего.

Низкий балл обусловлен тем, что рассматриваемая система обнаружения инородных объектов в трубопроводах находится на стадии НИР (научно-исследовательская работа), поэтому коммерциализация разработки не предусмотрена.

## 6.4 Инициация проекта

### 6.4.1 Цели и результат проекта

Своевременная диагностика технического состояния авиационных и ракетных изделий позволяет предупреждать и избегать аварийные ситуации, связанные с повреждениями деталей в процессе их эксплуатации и минимизировать затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Объект исследований – электроакустический преобразователь (ЭАП) для работы в воздушной среде с повышенной эффективностью преобразования.

Цель данной работы состоит в разработке ЭАП обладающего высокой эффективностью преобразования при достаточно малых габаритах, разработка конструкции и технологии его изготовления.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 6.

Таблица 6.6 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Научный руководитель и исполнитель магистерской диссертации	Результаты фундаментальных исследований, а также появление прибора для точного определения толщины карбидокремниевое покрытия
Научное сообщество (лаборатории, научно-исследовательские центры, занимающиеся фундаментальными	Результаты фундаментальных исследований, полученных при выполнении работы

и прикладными исследованиями в области неразрушающего контроля и диагностики)	
ГУ "Томский ЦГМС";	Снижение затрат на ремонтно-восстановительные работы, связанные с повреждениями деталей в процессе их эксплуатации
МЧС Томск	Появление на рынке недорогой системы для быстрого и точного определения характеристик ПАС

В таблице 6.7 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 6.7 - Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Цель данной работы состоит в разработке ЭАП обладающего высокой эффективностью преобразования при достаточно малых габаритах,
	Разработка конструкции и технологии изготовления ЭАП.
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получить основные зависимости, связывающие эффективность преобразования с характеристиками материалов протектора и демпфера и их геометрические характеристики;
	Создать технологию изготовления ЭАП, обеспечивающую стабильность характеристик при серийном производстве.
<b>Требования к результату проекта:</b>	Мобильность
	Небольшие габариты и вес
	Надежность
	Простота в использовании

## 6.4.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы был составлен список основных участников рабочей группы данного проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Эта информация представлена в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Капранов Борис Иванович, доктор технических наук, профессор каф. ФМПК	Научный руководитель проекта	Координация деятельности исполнителя проекта	2208
2	Мордус Радион Владимирович, каф. ФМПК, магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение проектных работ	2880
ИТОГО:				5088

## 6.4.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Ограничения проекта представлены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	1300000 руб.
1.1 Источник финансирования	средства ИМКС СО РАН
2. Сроки проекта	1.09.2014 – 30.05.2016гг.
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	14.12.2014
2.2. Дата завершения проекта	28.05.2016

## 6.5 Планирование управления научно-техническим проектом

### 6.5.1. Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

На рисунке 6.2 представлена иерархическая структура работы по проекту модернизации лабораторного макета радиационного толщиномера.

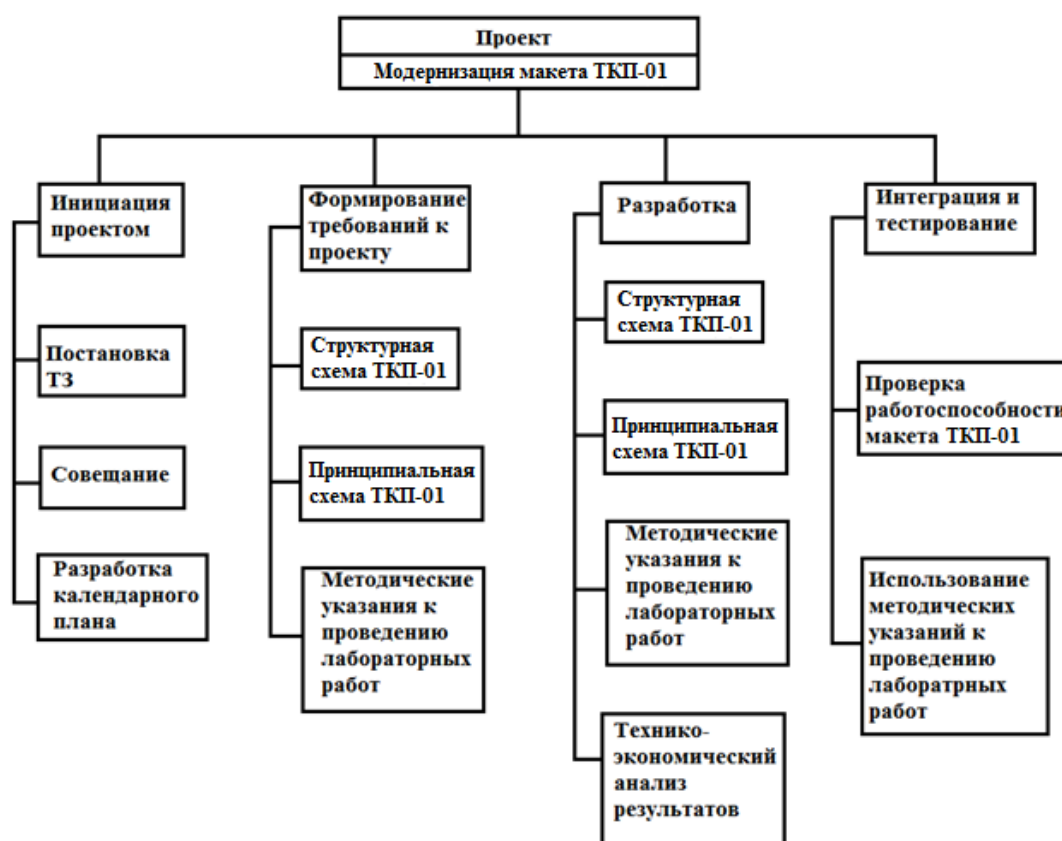


Рисунок 6.2 – Иерархической структуры работ по научному проекту

### 6.5.2. Контрольные события проекта

В рамках данного раздела были определены ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эта информация сведена в таблицу (см. табл. 10).

Таблица 6.10 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Инициация проектом	12.09.13	Техническое задание, календарный план
2	Формирование требований к проекту	16.05.14	Патентный поиск, исходные данные к работе
3	Разработка	15.09.14	Отчеты НИР, структурная и принципиальная схема АМК-03, перечень выбранных элементов
4	Интеграция и тестирование	15.05.15	Данные и расчеты, итоги проекта, диссертация

### 6.5.3 План проекта

Залогом успешной реализации любого проекта является оптимальное планирование занятости каждого из его участников и сроков проведения отдельных работ на этапе организации процесса.

Научным руководителем проекта является Капранов Борис Иванович. Руководитель выполняет координацию деятельности участников проекта, производит опытно-конструкторскую работу. Исполнителем (дипломником) является Мордус Радион Владимирович. Исполнитель производит поиск и представление информации, проводит экспериментальные измерения по теме проекта. А также выполняет необходимые задания и указания руководителя.

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы 6.11.

Таблица 6.11 - Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Сроки работ	Состав участников (ФИО ответственных исполнителей)
1.	Составление технического анализа	30	сен. – окт. 2014	НР – 100% И – 0%
2.	Патентный поиск и анализ аналогов	30	Нояб.- дек. 2014	НР – 20% И – 100%
3.	Проведение исследований	60	Сен.- дек.2014	НР – 50% И – 100%
4.	Анализ методов и средств толщинометрии	60	окт. - дек. 2014	НР – 60% И – 100%
5.	Разработка структурной схемы АМК	30	окт. - нояб. 2014	НР – 40% И – 100%
6.	Разработка принципиальной схемы АМК, выбор элементов	40	дек. 2014	НР – 50% И – 100%
7.	Модернизация лабораторного макета АМК	70	январ. - март. 2015	НР – 30% И – 100%
8.	Экспериментальная проверка работоспособности макета АМК	50	январ. - февр. 2015	НР – 20% И – 100%
9.	Обработка результатов проведенного эксперимента	60	апр. - июль 2015	НР – 80% И – 100%
10.	Оформление графического материала	30	июль - дек. 2015	НР – 10% И – 100%
11.	Обсуждение полученных результатов, составление рекомендаций, утверждение структуры работы	200	Январь 2015 — окт 2015	НР – 100% И – 100%

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Календарный план-график проведения НИОКР по теме «Разработка малогабаритного передвижного ультразвукового метеокомплекса» представлен на рисунке 6.3.

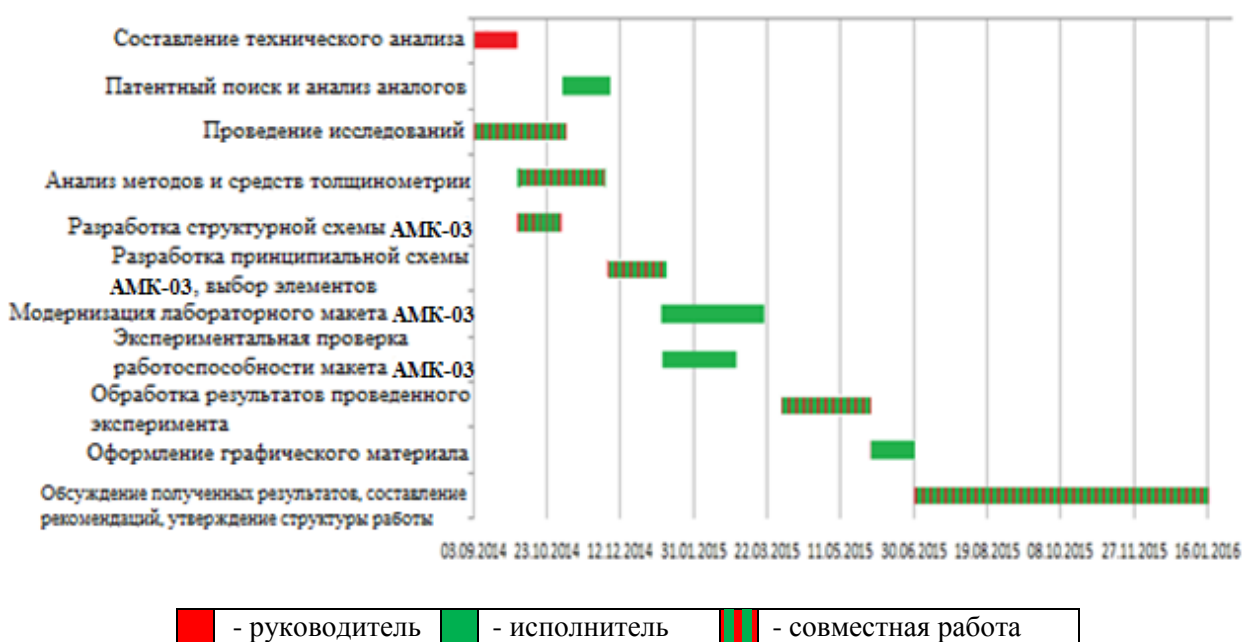


Рисунок 6.3 – Календарный план-график проведения НИОКР

#### 6.5.4 Бюджет научного исследования

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям: сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. В стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление



документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Результаты по данной статье приведены в таблице 6.12.

Таблица 6.12 - Расчет себестоимости продукции

п/п	Наименование	Цена, р.
1	Микропроцессор STM32F405RG	153
2	Микросхема ADS1292R	159
3	Стабилизатор TPS7A49	78
4	Стабилизатор TPS7A30	92
5	Инвертер напряжение TPS60403	35
6	Стабилизатор повышающий TPS61220	43
7	Стабилизатор TPS71730	41
8	Стабилизатор повышающий LM2733	39
9	Микросхема зарядки BQ2057	32
10	Операционный усилитель LMP7731	46
11	АЦП-USB-8К-В	190256
13	Сцинтилляционный кристалл NaI(Tl)	5200
14	Печатная плата	103
15	Фотоумножитель ФЭУ-60	1560
16	Блок высоковольтного питания UltraVolt M series 1.5M 15 - N 0.8	24480
17	Предусилитель SensL mini_v2	93250
Всего за материалы		315567
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)		9467
Итого по статье $C_m$		325034

Специальное оборудование и расходный материал для создания макетного образца АМК.

Таблица 6.13 – Специальное оборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Компьютер высокой мощности	2	15600	31200
2	Паяльная станция QUICK 204	1	4800	4800
3	Паяльная станция Lukey 702	1	5200	5200
4	Блок питания Mastech NY5003-2	1	9600	9600
5	Генератор импульсных сигналов Instek GFG-8216A	1	8500	8500
6	Мультиметр	1	1250	1250
7	Микроскоп электронный series digital microscope 400x	1	2200	2200
8	Припой ПОС 61 , 1мм	1	1230	1230
9	Припой ПОС 61 , 2мм	2	2500	5000
Итоговая сумма				68980

### 6.5.5 Основная заработная плата

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (1)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (3)$$

где  $Z_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле

$$Z_{м} = Z_{б} \cdot k_{р},$$

где  $k_{р}$  – районный коэффициент в Томске.

Таким образом, месячный должностной оклад научного руководителя (доцент, к.ф.-м.н.) составляет

$$Z_{м.нр.} = 23264.86 \cdot 1.3 = 30244 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад исполнителя, как учебно-вспомогательного персонала 2-го квалификационного уровня:

$$Z_{м.и.} = 8022.65 \cdot 1.3 = 10430 \text{ руб.}$$

Определим действительный годовой фонд рабочего времени  $F_{д}$  научного руководителя, исполнителя, исходя из того, что они работают по 6-дневной неделе (таблица 6.14).

Таблица 6.14 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	61	61
- выходные дни	44	44
- праздничные дни	17	17
Потери рабочего времени	48	0
- отпуск	48	0
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени (Фд)	256	304

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн.нр.}} = \frac{30244 \cdot 10.4}{256} = 1229 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$Z_{\text{дн.и.}} = \frac{10430 \cdot 10.4}{304} = 357 \text{ руб.}$$

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит для руководителя:

$$Z_{\text{осн.нр.}} = 1229 \cdot 181 = 222390 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$Z_{\text{осн.и.}} = 357 \cdot 369 = 131656 \text{ руб.}$$

Итоговый расчёт основной заработной платы приведён в таблице 15.

Таблица 6.15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_m$ , руб.	$Z_{\text{дн.}}$ , руб.	$T_{\text{раб.}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{осн.}}$ , руб.
Научный руководитель	30244	1229	181	222390
Исполнитель	10430	357	369	131656

### 6.5.6 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

(5)

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты (12%);

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

Таким образом, дополнительная заработная плата:

для научного руководителя:

$$Z_{\text{д.нр.}} = 222390 \cdot 0.12 = 26687 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$Z_{\text{д.и.}} = 131656 \cdot 0.12 = 15799 \text{ руб.}$$

В таблице 16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.16 – Заработная плата исполнителей научного проекта

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	222390	131656
Дополнительная зарплата	26687	15799
Итого	249077	147455
Итого по статье $C_{\text{зп.}}$	396532	

### 6.5.7 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды: пенсионный фонд, фонд ОМС и т.д. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды  $k_{\text{внеб.}}$  составляет 30%.

$$C_{\text{внеб.}} = k_{\text{внеб.}} \cdot C_{\text{зп.}}$$

$$C_{\text{внеб.}} = 0.3 \cdot 396532 = 118960 \text{ руб.}$$

### 6.5.8 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

В этой статье отражены расходы, связанные с полученными в процессе проектирования услугами от сторонних организаций.

Таблица 6.17 - Затраты на услуги сторонних организаций

Услуга	Сумма затрат, руб.
Услуги сторонних (доставка оборудования и т.д.)	1450
Доступ в Internet	2000
Прочее (печать, канцелярские принадлежности, и т.д.)	415
Итого	3865

### 6.5.9 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Примем коэффициент накладных расходов  $k_{\text{накл.}}$  равным 90%,

$$C_{\text{накл.}} = k_{\text{накл.}} \cdot C_{\text{зп.}}$$

$$C_{\text{накл.}} = 0.9 \cdot 396532 = 356879 \text{ руб.}$$

Группировка затрат по статьям приведена в таблице 18.

Таблица 6.18 – Группировка затрат по статьям

Статьи затрат (руб.)						
$C_{\text{м}}$	$C_{\text{спец.об.}}$	$C_{\text{зп.}}$	$C_{\text{внеб.}}$	$C_{\text{ст.орган.}}$	$C_{\text{накл.}}$	Итого плановая себестоимость
325034	68980	396532	118960	3865	356879	1270250

Для реализации данного научного исследования потребуется 1270250 рубля.

### 6.6 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу сведена в таблицу 6.19.

Таблица 6.18 – Реестр рисков

Название	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Риск невостребованности (оригинальности) продукции	Отсутствие прибыли от реализации продукции	2	4	Низкий	Техническая модернизация разработки	Отсутствие спроса на новый продукт, перенасыщение рынка однотипной продукцией
Риск технологической «неадекватности»	Низкий уровень финансирования проекта	1	5	Низкий	Грамотная оценка практического применения системы	Отсутствие инвесторов

					диагностики	
Риск финансово-й «неадекватности»	Использование материалов низкого качества, остановка реализации проекта	1	4	Низкий	Точный расчет необходимых затрат	Неверный расчет бюджета проекта
Риск неуправляемости проектом	Низкий уровень качества продукции	3	5	Средний	Привлечение высококвалифицированного персонала	Низкий профессиональный уровень разработчиков

1. *Риск невостребованности (оригинальности)* продукции обусловлен тем, что оригинальные технологии могут быть невостребованы производством и рынком.

2. Существует принципиальная разница между технологией как продуктом интеллектуальной деятельности и технологией как объектом инвестирования. Если новая продукция технологически применима в производстве, то она становится инвестиционно-привлекательной. Если наоборот, то возникает *риск технологической «неадекватности»*.

3. *Риск финансовой «неадекватности»* связан с несоответствием значения инновационного проекта и предоставляемых финансовых средств на его реализацию.

4. Успешная реализация проекта предполагает сочетание не только оригинальности и проработанности проекта, но и сплоченности и профессионализма управленческой команды. При отсутствии высококвалифицированных кадров может возникнуть *риск неуправляемости* проектом.

## **6.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

### **6.7.1 Оценка сравнительной эффективности исследования**



Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Оценка эффективности исследования проводилась на основании сравнения рассмотренного в работе прибора для определения толщины карбидокремниевых покрытий на основе радиационного метода и двух конкурентных приборов:

1. Преобразователь метеоданных Vaisala WXT520;
2. Преобразователь метеоданных Vaisala WMT52.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где

$I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\Phi}^p = \frac{325000}{325000} = 1$$

$$I_{\Phi}^{a1} = \frac{292400}{325000} = 0,9$$

$$I_{\Phi}^{a2} = \frac{260000}{325000} = 0,8$$

Так как стоимость исполнения представленного проекта максимальна, в сравнении с аналогами, следовательно, интегральные финансовые показатели разработки и аналогов равны:

$$I_{\Phi}^p = 1, \quad I_{\Phi}^{a1} = 0.9, \quad I_{\Phi}^{a2} = 0.8.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a,$$

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где

$I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводился на основании данных представленных в таблице 1.

Итоги расчетов:

$$I_m^p = 4.6, \quad I_m^{a1} = 4.1, \quad I_m^{a2} = 4.4.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр.}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр.}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр.}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{ф}}^p},$$

$$I_{\text{финр.}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\text{ф}}^a}.$$

Интегральные финансовые показатели эффективности равны:

$$I_{\text{финр.}}^p = 4.7, \quad I_{\text{финр.}}^{a1} = 4.6, \quad I_{\text{финр.}}^{a2} = 5.8.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр.}}^p}{I_{\text{финр.}}^a}.$$

Таблица 6.19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель	1	0.9	0.8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.6	4.4	4.6
3	Интегральный показатель эффективности	4.6	4.9	5.8
4	Сравнительная эффективность		0.94	0.79

Полученные данные позволяют сделать следующий вывод: интегральный показатель ресурсоэффективности разработки превышает показатели аналогов, что говорит о том, что исследуемый прибор достаточно эффективен и может конкурировать с приборами подобного типа.

## **Заключение**

В данной диссертации рассмотрен автоматический метеоконкомплекс, принцип его работы, структурная схема. Так же в настоящей работе описан акустический метод измерения скорости ветра, температуры воздуха и параметров атмосферной турбулентности.

Объектом исследований является электроакустический преобразователь для работы в воздушной среде с повышенной эффективностью преобразования. Цель данной работы состояла в разработке ЭАП обладающего высокой эффективностью преобразования при достаточно малых габаритах, разработка конструкции и технологии его изготовления. Для реализации указанной цели работы были решены следующие основные задачи:

- Найдены причины уменьшения чувствительности измерительного канала при увеличении скорости воздушного потока;
- Уменьшены габариты ультразвуковой измерительной головки метеоконкомплекса;
- Подобран материал и геометрические размеры протектора;
- Подобран материал и геометрические размеры демпфера;
- Исследованы частотные характеристики ЭАП;
- Исследованы зависимости чувствительности измерительного канала от скорости воздушного потока;

**В разделе 2** был рассмотрен акустический метод измерения скорости ветра, температуры воздуха и параметров атмосферной турбулентности. Также были рассмотрены теоретические основы возникновения пьезоэффекта.

**В разделе 3** были подробно изложены требования к конструкции электроакустического преобразователя и приведены результаты расчетов и экспериментальные данные, на основании которых можно сконструировать ЭАП, оптимальный с точки зрения предъявленных к термоанемометру требований.

**В разделе 4** исследования выявлены, основные причины невозможности работы термоанемометра при скорости ветрового потока выше 30 м/с.

По результатам выполненного задания для раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» было достигнуто следующее:

- Были определены потенциальные потребители результатов исследования;

- Проведен SWOT-анализ, по результатам которого можно сделать вывод, что данная технология имеет преимущества по сравнению с имеющимися разработками. Данная разработка и имеет низкую стоимость, по сравнению с существующими технологиями. Для повышения спроса необходима активная рекламная компания;

- Составлен план проекта, в соответствии с которым определяются объем работ и время, затрачиваемое на ее выполнение. Из календарного плана следует, что руководитель (Капранов Б.И.) занят календарных 323 дня (264 рабочих дней), исполнитель ВКР (Мордус Р.В.) занят календарных 492 дня (393 рабочих дней);

- Рассчитан бюджет научного исследования. Рассчитано, что для реализации проекта требуется 1757192,50 рубля;

- Проведена оценка экономической выгоды исследования.

В разделе «Социальная ответственность» магистерской работы описали рабочее место, провели анализ выявленных вредных и опасных проявлений факторов производственной среды, затронули вопросы охраны окружающей среды, рассмотрели защиту при возникновении чрезвычайных ситуаций, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, а также организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

На основании вышеизложенного можно заключить, что работа выполнена в полном объеме, цель достигнута. Результаты данной работы были использованы при производстве ЭАП в ООО «Сибаналитприбор».

### Список использованных источников

1. Афиногенов Л.П., Грушин С.И., Романов Е.И. Аппаратура для исследований приземного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 320 с.
2. Schotland R.M. The measurement of wind velocity by sonic means // J. Meteor. 1955. P. 386–390.
3. Хргиан А.Х. Физика атмосферы. Т. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 248 с.
4. International standard: ISO 16622-2002. Meteorology – Sonic anemometers/thermometers – Acceptance test methods for means wind measurements.
5. Тихомиров А.А. Ультразвуковые термометры/анемометры для измерения скорости ветра и температуры (обзор) // Восьмое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу: Материалы рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова, 2009. Томск: Аграф-Пресс. С. 21–23.
6. Атмосфера. Справочник. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 512 с.
7. Kaimal J.C., Gaynor J.E. Another look at sonic thermometry // Boundary Layer Meteorology. 1991. V. 56, p. 410-418.
8. Ростов А.П. Ультразвуковая метеостанция для измерения турбулентных характеристик в приземном слое атмосферы // Региональный мониторинг атмосферы. Ч. 2. Новые приборы и методики измерений. Томск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 232-243.
9. Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Ильичевский В.И., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Шелевой В.Д.. Автоматизированный ультразвуковой метеорологический комплекс АМК-03 // Метеорология и гидрология, 2006. № 11, с. 89–97.
10. Hanafusa T., Fujitani T., Kobori Y., Mitsuta Y. A new type sonic anemometer-thermometer for field operation // Paper in Meteorology and Geophysics, 1982. V. 33. N. 1. P. 1–19.
11. URL: [http://www.meteo-technology.com/company\\_address.htm#Young](http://www.meteo-technology.com/company_address.htm#Young) (дата обращения: 22.08.2009).

12. URL: <http://www.airmar-emea.com> (дата обращения: 13.05.2009).
13. URL: <http://www.apptech.com> (дата обращения: 26.04.2009).
14. URL: <http://www.campbellsci.com> (дата обращения: 07.05.2009).
15. URL: <http://www.climatronics.com> (дата обращения: 16.04.2009).
16. URL: <http://www.metone.com> (дата обращения: 30.03.2009).
17. URL: <http://www.youngusa.com> (дата обращения: 15.05.2009).
18. URL: <http://www.fttech.co.uk> (дата обращения: 23.07.2009).
19. URL: <http://www.gill.co.uk> (дата обращения: 31.08.2009).
20. URL: <http://www.metek.de> (дата обращения: 05.04.2009).
21. URL: <http://www.thiesclima.com> (дата обращения: 10.01.2010).
22. URL: <http://www.deltaohm.com> (дата обращения: 13.04.2009).
23. URL: <http://www.vaisala.com> (дата обращения: 11.05.2009).
24. URL: [http://www.u-sonic.co.jp/index\\_e.html](http://www.u-sonic.co.jp/index_e.html) (дата обращения: 12.05.2009).
25. URL: <http://www.imces.ru> (дата обращения: 10.08.2009).
26. URL: <http://www.iao.ru> (дата обращения: 31.08.2009).
27. URL: <http://typhoon-tower.obninsk.org/ru/index.html> (дата обращения: 22.03.2009).
28. URL: <http://www.belfortinstrument.com> (дата обращения: 17.04.2009).
29. URL: <http://www.coastalenvironmental.com> (дата обращения: 16.04.2009).
30. URL: <http://www.novalynx.com> (дата обращения: 02.04.2009).
31. URL: <http://www.biral.com> (дата обращения: 06.04.2009).
32. URL: <http://www.emtld.net> (дата обращения: 22.08.2009).
33. URL: <http://www.ammonit.de> (дата обращения: 04.05.2009).
34. URL: <http://www.fischer-barometer.de> (дата обращения: 04.05.2009).
35. URL: <http://www.th-friedichs.com> (дата обращения: 06.05.2009).
36. URL: <http://www.geonica.com> (дата обращения: 30.09.2009).

37. URL: <http://www.atmos-meteo.com> (дата обращения: 30.09.2009).
38. Wieser A., Fiedler F., Corsmeier U. The influence of design on wind measurements with sonic anemometer systems // J. Atmos. Oceanic Technol. 2001. V. 18. N 10. P. 1585–1608.
39. Богушевич А.Я. Методика и алгоритмы учета затенения ветра в ультразвуковых метеостанциях АМК-03 // Материалы рос. конф. / Под ред. М.В. Кабанова, 2009. Томск: Аграф-Пресс, 2009. С. 366–368.
40. URL: <http://www.vaisala.com/files/WINDCAP%20Brochure.pdf> (дата обращения: 10.01.2010).
41. URL: <http://www.atom.nw.ru/ATC/askro/atsat3m.htm> (дата обращения: 05.05.2009).
42. Тихомиров А.А., Корольков В.А., Богушевич А.Я., Азбукин А.А., Щелевой В.Д. Бортовой метеорологический комплекс на базе многоцелевых гусеничных и колесных машин // Вестник Академии военных наук. 2008. № 3(24). С. 144–148.
43. Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Корольков В.А., Тихомиров А.А., Щелевой В.Д. Полевой вариант метеорологического комплекса АМК-03 // Метеорология и гидрология. 2009. № 2. С. 101–106.
44. URL: [http://www.vaisala.com/files/WXT520\\_Datasheet\\_RU.pdf](http://www.vaisala.com/files/WXT520_Datasheet_RU.pdf) (дата обращения: 10.01.2010).
45. URL: <http://www.vaisala.com/files/raincap0905.pdf> (дата обращения: 10.01.2010).
46. URL: [http://www.vaisala.com/files/WS425FG\\_User\\_Guide\\_in\\_English.pdf](http://www.vaisala.com/files/WS425FG_User_Guide_in_English.pdf) (дата обращения: 10.01.2010).
47. URL: [http://www.climatronics.com/Applications/Calibration-Test-Fixtures/test\\_fixtures-501506.php](http://www.climatronics.com/Applications/Calibration-Test-Fixtures/test_fixtures-501506.php) (дата обращения: 16.04.2009).
48. URL: <http://www.biral.com/met/wind/fieldcal.htm> (дата обращения: 13.05.2009).



49. Патент РФ на изобретение № 2319987 "Ультразвуковой термоанемометр с устройством автоматического восстановления точностных характеристик измерений", заявка № 2006119583, авторы Азбукин А.А., Богушевич А.Я., Ильический В.С., Корольков В.А., Шелевой В.Д., приоритет 05.06.2006. Оpubл. 20.03.08. Бюл. № 8.

50. URL: <http://www.youngusa.com/services-support/calibration.html>  
(дата обращения: 26.12.2009).

51. URL:  
[http://www.combilog.de/TH\\_Friedrichs/site/engl/content/group\\_8/Wind.html](http://www.combilog.de/TH_Friedrichs/site/engl/content/group_8/Wind.html)  
(дата обращения: 05.05.2009).

52. URL:  
[http://www.climatronics.com/pdf\\_pn/Calibration\\_Test\\_Fixtures/102645.pdf](http://www.climatronics.com/pdf_pn/Calibration_Test_Fixtures/102645.pdf) (дата обращения: 03.04.2009).

53.

[http://www.climatronics.com/pdf\\_pn/Calibration\\_Test\\_Fixtures/102645.pdf](http://www.climatronics.com/pdf_pn/Calibration_Test_Fixtures/102645.pdf)  
(дата обращения: 03.04.2009).

54. ГОСТ 12.0.004-90. Организация обучения работающих безопасности труда. Общие положения.

55. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.

56. ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования рабочей зоны.

57. ГОСТ 12.1.041-83. Пожаровзрывобезопасность горючих пылей.

58. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

59. ГОСТ 12.4.009-83. Пожарная техника для защиты объектов.

60. ГОСТ 12.4.011-89. Средства защиты работающих.

61. ГОСТ 12.4.103-83. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук.

62. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

63. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
64. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
65. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
66. ГОСТ Р 22.0.07-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.
67. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
68. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
69. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
70. СП 60.13330.2012. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

## Приложение

## **1 History of Piezoelectricity**

The first scientific publication describing the phenomenon, later termed as piezoelectricity, appeared in 1880. It was co-authored by Pierre and Jacques Curie, who were conducting a variety of experiments on a range of crystals at the time. In those experiments, they cataloged a number of crystals, such as tourmaline, quartz, topaz, cane sugar and Rochelle salt that displayed surface charges when they were mechanically stressed. In the scientific community of the time, this observation was considered as a significant discovery, and the term “piezoelectricity” was coined to express this effect. The word “piezo” is a Greek word which means “to press”. Therefore, piezoelectricity means electricity generated from pressure - a very logical name. This terminology helped distinguish piezoelectricity from the other related phenomena of interest at the time; namely, contact electricity<sup>1</sup> and pyroelectricity<sup>2</sup>. The discovery of the direct piezoelectric effect is, therefore, credited to the Curie brothers. They did not, however, discover the converse piezoelectric effect. Rather, it was mathematically predicted from fundamental laws of thermodynamics by Lippmann in 1881. Having said this, the Curies are recognized for experimental confirmation of the converse effect following Lippmann’s work. The discovery of piezoelectricity generated significant interest within the European scientific community. Subsequently, roughly within 30 years of its discovery, and prior to World War I, the study of piezoelectricity was viewed as a credible scientific activity. Issues such as reversible exchange of electrical and mechanical energy, asymmetric nature of piezoelectric crystals, and the use of thermodynamics in describing various aspects of piezoelectricity were studied in this period. The first serious application for piezoelectric materials appeared during World War I. This work is credited to Paul Langevin and his co-workers in France, who built an ultrasonic submarine detector. The transducer they built was made of a mosaic of thin quartz crystals that was glued between two steel plates in a way that the composite system had a resonance frequency of 50 KHz. The device was used to transmit a high-frequency chirp signal into the water and to measure the

depth by timing the return echo. Their invention, however, was not perfected until the end of the war. Following their successful use in sonar transducers, and between the two World Wars, piezoelectric crystals were employed in many applications. Quartz crystals were used in the development of frequency stabilizers for vacuum-tube oscillators. Ultrasonic transducers manufactured from piezoelectric crystals were used for measurement of material properties. Many of the classic piezoelectric applications that we are familiar with, applications such as microphones, accelerometers, ultrasonic transducers, etc., were developed and commercialized in this period. Development of piezoceramic materials during and after World War II helped revolutionize this field. During World War II, significant research was performed in the United States and other countries such as Japan and the former Soviet Union which was aimed at the development of materials with very high dielectric constants for the construction of capacitors. Piezoceramic materials were discovered as a result of these activities, and a number of methods for their high-volume manufacturing were devised. The ability to build new piezoelectric devices by tailoring a material to a specific application resulted in a number of developments, and inventions such as: powerful sonars, piezo ignition systems, sensitive hydrophones and ceramic phono cartridges, to name a few.

**Piezoelectric Ceramics** A piezoelectric ceramic is a mass of perovskite crystals. Each crystal is composed of a small, tetravalent metal ion placed inside a lattice of larger divalent metal ions and  $O_2$ , as shown in Figure 1.1. To prepare a piezoelectric ceramic, fine powders of the component metal oxides are mixed in specific proportions. This mixture is then heated to form a uniform powder. The powder is then mixed with an organic binder and is formed into specific shapes, e.g. discs, rods, plates, etc. These elements are then heated for a specific time, and under a predetermined temperature. As a result of this process the powder particles sinter and the material forms a dense crystalline structure. The elements are then cooled and, if needed, trimmed into specific shapes. Finally, electrodes are applied to the appropriate surfaces of the structure. Above a critical temperature, known as

the “Curie temperature”, each perovskite crystal in the heated ceramic element exhibits a simple cubic symmetry with no dipole moment, as demonstrated in Figure 1.1. However, at temperatures below the Curie temperature each crystal has tetragonal symmetry and, associated with that, a dipole moment. Adjoining dipoles form regions of local alignment called “domains”. This alignment gives a net dipole moment to the domain, and thus a net polarization. As demonstrated in Figure 1.2 (a), the direction of polarization among neighboring domains is random. Subsequently, the ceramic element has no overall polarization. The domains in a ceramic element are aligned by exposing the element to a strong, DC electric field, usually at a temperature slightly below the Curie temperature (Figure 1.2 (b)). This is referred to as the “poling process”. After the poling treatment, domains most nearly aligned with the electric field expand at the expense of domains that are not aligned with the field, and the element expands in the direction of the field. When the electric field is removed most of the dipoles are locked into a configuration of near alignment

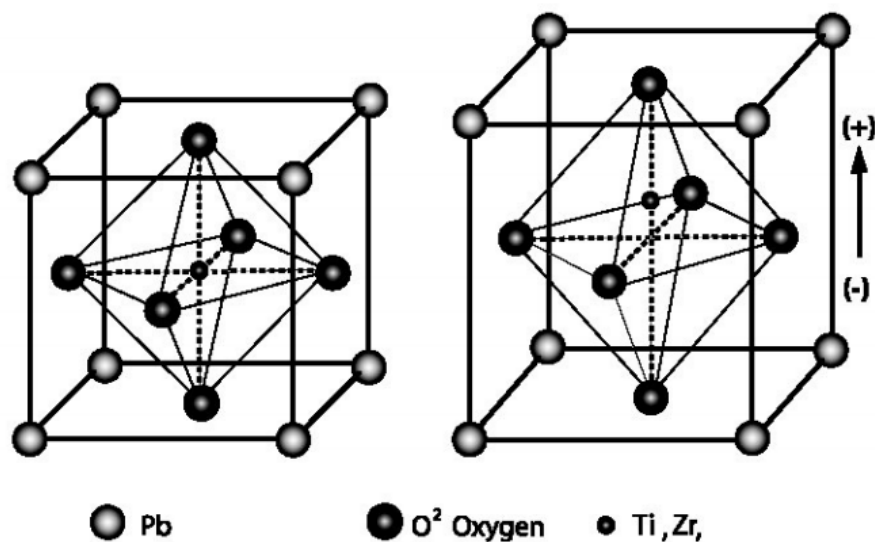


Figure 1.1. Crystalline structure of a piezoelectric ceramic, before and after polarization (Figure 1.2 (c)).

The element now has a permanent polarization, the remnant polarization, and is permanently elongated. The increase in the length of the element, however,

is very small, usually within the micrometer range. Properties of a poled piezoelectric ceramic element can be explained by the series of images in Figure 1.3. Mechanical compression or tension on the element changes the dipole moment associated with that element. This creates a voltage. Compression along the direction of polarization, or tension perpendicular to the direction of polarization, generates voltage of the same polarity as the poling voltage (Figure 1.3 (b)). Tension along the direction of polarization, or compression perpendicular to that direction, generates a voltage with polarity opposite to that of the poling voltage (Figure 1.3 (c)). When operating in this mode, the device is being used as a sensor. That is, the ceramic element converts the mechanical energy of compression or tension into electrical energy. Values for compressive stress and the voltage (or field strength) generated by applying stress to a piezoelectric ceramic element are linearly proportional, up to a specific stress, which depends on the material properties. The same is true for applied voltage and generated strain<sup>3</sup>. If a voltage of the same polarity as the poling voltage is applied to a ceramic element, in the direction of the poling voltage, the element will lengthen and its diameter will become smaller (Figure 1.3 (d)). If a voltage of polarity opposite to that of the poling voltage is applied, the element will become shorter and broader (Figure 1.3 (e)). If an alternating voltage is applied to the device, the element will expand and contract cyclically, at the frequency of the applied voltage. When operated in this mode, the piezoelectric ceramic is used as an actuator. That is, electrical energy is converted into mechanical energy.

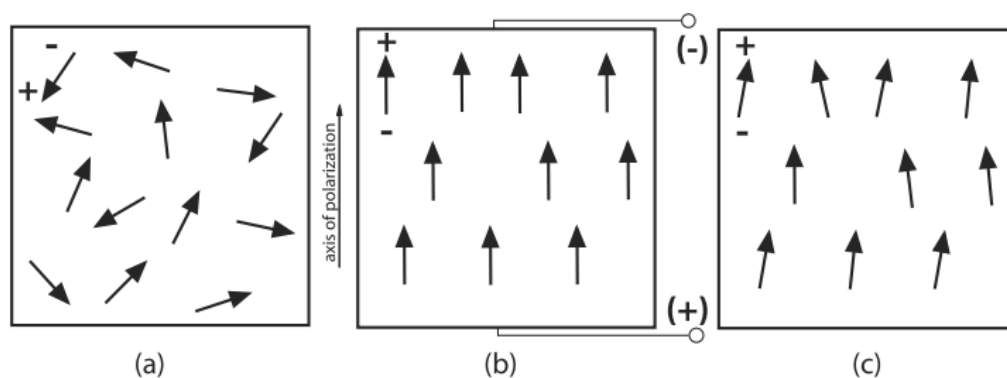


Figure 1.2. Poling process: (a) Prior to polarization polar domains are oriented randomly; (b) A very large DC electric field is used for polarization; (c) After the DC field is removed, the remnant polarization remains.

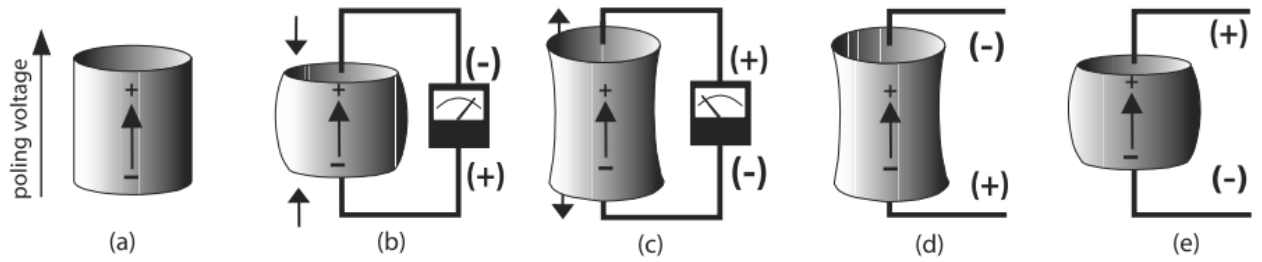


Figure 1.3. Reaction of a poled piezoelectric element to applied stimuli



## **Piezoelectric transducers**

Piezoelectric transducers are found in a wide range of different applications, ranging from cigarette lighters to ultrasonic imaging devices. The present study is confined to piezoelectric transducer structures which are based on circular piezoelectric ceramic disks. A typical transducer of this type is shown in Fig. 2.1. This type of transducer is typically applied for the radiation of ultrasonic waves into a fluid or solid medium, and one specific application is gas flowmeters. The piezoelectric disk, which in Fig. 2.1 is sandwiched between a front layer and a backing layer, is the active element in the piezoelectric transducer. Two electrodes on the top and bottom surfaces of the disk are connected to signal generators. According to the piezoelectric effect, the piezoelectric disk will vibrate when a sinusoidal varying voltage is applied over the electrodes of the piezoelectric disk. The vibration of the disk is related to the frequency of the sinusoidal varying voltage and to the geometry of the disk, and may often be complicated.

Typical high-coupling piezoelectric materials have a high characteristic acoustic impedance compared to water and air. Consequently, the bandwidth of the response functions of the disk becomes low. The acoustic impedance mismatch may be overcome by using front and backing layers between the piezoelectric disk and the fluid medium, as shown in Fig. 2.1. At the back face of the piezoelectric disk, often either a lossy backing with characteristic acoustic impedance comparable to the characteristic acoustic impedance of the piezoelectric material is used, or a backing which is matched to the fluid medium is applied. At the front face of the piezoelectric disk, a matching layer of quarterwave thickness may be applied, to match the high characteristic acoustic impedance of the piezoelectric disk to the low characteristic acoustic impedance of the fluid medium. There are many aspects to the optimum choice of backing and front layer thickness and acoustic impedance. In the present work, only the basic parts of a piezoelectric disk transducer, a piezoelectric disk with a front layer, is considered.

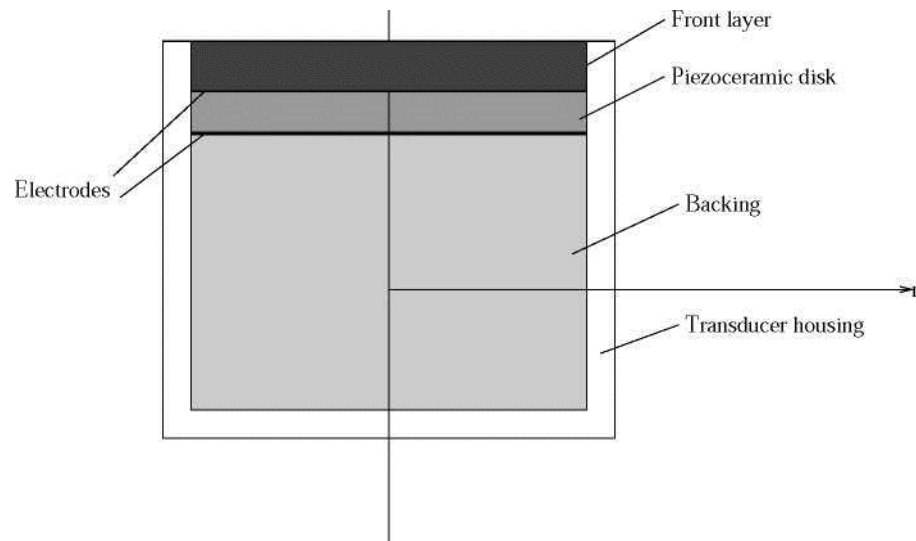


Figure 2.1. Basic structure for an axisymmetric piezoelectric transducer.

The piezoelectric transducer may be used to operate either in transmitting or receiving mode, or both. In the transmitting mode an ultrasonic wave is generated by an applied electrical voltage or current. In the receiver mode, an electrical signal is generated by an incoming acoustical wave. In some cases, the same transducer is used to perform both functions. The transducer may be operated in either continuous-wave mode, in which the transducer is harmonically operated at a specified frequency, or in transient mode, where the transducer is used to send out pulses.

### **Piezoelectric disks**

The piezoelectric disk is the active element in piezoelectric transducers of the types studied in the present work, and the vibration, response functions and radiated sound field from such transducers therefore depends strongly on the vibrational characteristics of the piezoelectric disk. An often used approach for the modeling of the vibration of a piezoelectric disk is to assume that the disk is a plane piston radiator. This assumption is good for large  $D/T$  ratios, but fails for thicker piezoelectric disks.

In a piezoelectric disk with finite diameter and thickness, there is no vibrational mode for which the disk vibrates like a plane piston, as is assumed in the 1D models. Instead, there is a complicated spectrum of different vibrational modes, and the vibrational characteristics of the piezoelectric disk varies strongly

with the D/T ratio. Historically, an important aid in the classification of the vibrational modes of piezoelectric disks has been resonance frequency spectra of piezoelectric disks, in which the variation of the resonance frequencies of piezoelectric disks is shown as a function of the D/T ratio of the disks. Using these resonance frequency spectra, it is possible to study the transition from one mode type to another when the D/T ratio of the disk changes, including the strong mode coupling which may occur. In the discussion of resonance frequency spectra, some resonance frequencies calculated from one-dimensional analysis of long bars and thin disks are needed. Several different workers have classified the vibrational modes found in piezoelectric disks of varying D/T ratio into different groups, using both measurements and simulations.