

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

---

Инженерная школа Неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение

Отделение школы (НОЦ) Контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ СБОРА И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВИБРАЦИИ ДЛЯ ПИТАНИЯ БЕСПРОВОДНЫХ УСТРОЙСТВ НА ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТАХ</b>

УДК 681.586.773”34:621.311.61

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Сагалакова Аделина Геннадьевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Калиниченко Алексей Николаевич	к.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков Артем Георгиевич	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Галина Васильевна	к.т.н.		

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
1	Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК- 1, ОПК-3, ПК-12, ПК-16, ПК-17, ПК-18, ПК-22), ), СУОС ТПУ (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
2	Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОПК-1, ПК-6, ПК -8, ПК-16, ПК-18, ПК-19, ПК-20), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-4, ПК-17, ПК-19), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI , требования профессиональных стандартов (40.158

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса)
4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2 , ПК-1, ПК-2 , ПК-15, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1), Критерий 5 АИОР (п 1.1, п.1.2, п.1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами)
5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-9 , ПК- 11, ПК-17), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п.1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник)
6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-18, ПК-20, ПК-21, ПК-22), СУОС ТПУ (УК-1), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научно-

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)
7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8, ПК-10. ПК- 11, ПК-12, ПК-14, ПК-21), СДЮ Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5. 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования)

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

Инженерная школа Неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение

Отделение школы (НОЦ) Контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)      \_\_\_\_\_ (Дата)      Вавилова Г.В.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Сагалаковой Аделине Геннадьевной

Тема работы:

Разработка модуля сбора и преобразования вибрации для питания беспроводных устройств на техногенных объектах

Утверждена приказом директора (дата, номер)	30.11.2016, 10267/с
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2018
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вибростенд ЕТ-139;</li> <li>- Измерительный комплекс управления вибростендом К-5201;</li> <li>- Линейный усилитель мощности РА-138;</li> <li>- Пьезоэлектрический датчик;</li> <li>- Сейсмодатчик.</li> </ul>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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 работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Цель работы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разработка модуля сбора и преобразования энергии вибрации на техногенных объектах для питания беспроводных устройств.</li> </ul> <p>Задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- обзор и анализ литературы, посвященный энергопотреблению датчиков технического диагностирования и преобразователям виброакустических колебаний;</li> <li>- ознакомление с установкой для проведения</li> </ul>

	испытаний; - проектирование конструкций модуля сбора и преобразования энергии вибрации; - проведение лабораторных испытаний спроектированных конструкций; - обработка результатов экспериментов; - представление полученных данных.
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Данков Артем Георгиевич, доцент ОСГН
Социальная ответственность	Анищенко Юлия Владимировна, доцент ОКД
Иностранный язык	Демьяненко Наталия Владимировна, старший преподаватель ОИЯ
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>РАЗДЕЛ 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ</b>	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	30.11.2016
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Калиниченко Алексей Николаевич	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Сагалакова Аделина Геннадьевна		

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

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Сагалаковой Аделине Геннадьевне

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	1. Стоимость ресурсов для исследования электродинамического преобразователя
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	2. Нормы и нормативы расходования ресурсов
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования

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

1. <i>Предпроектный анализ</i>	1. Составление карты сегментирования рынка 2. Анализ конкурентных технических решений 3. SWOT-анализ
2. <i>Планирование управления научно-исследовательского проекта</i>	2. Планирование научно-исследовательских работ: – структура работ в рамках научного исследования; – определение трудоемкости выполнения работ; – разработка графика проведения научного исследования; – бюджет научно-технического исследования (НТИ).

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

1. <i>План-график проведения НИ</i>
-------------------------------------

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Данков Артем Георгиевич	кандидат исторических наук		5.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Сагалакова Аделина Геннадьевна		5.03.2018

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1БМ6А	Сагалаковой Аделине Геннадьевне

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>ОКД</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является электродинамический преобразователь.
--	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.</p>	<p><i>Рабочий процесс проводится в научной лаборатории, где могут быть такие вредные факторы как: отклонение показателей микроклимата, повышенный уровень шума и вибрации, недостаточная освещенность рабочей зоны. В ходе выполнения работы возможно поражение электрическим током.</i></p>
<p><b>2. Экологическая безопасность</b></p>	<p>Во время проведения исследования и по его окончанию не существуют источников загрязнения окружающей среды.</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях</b></p>	<p>Возможно возникновение пожара.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</b></p>	<p>Рациональная планировка рабочей зоны, требования к основным элементам рабочего места: рабочий стол, рабочий стул, вибростенд, преобразователь.</p>

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Анищенко Юлия Владимировна	к.т.н.		6.03.2018

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1БМ6А	Сагалакова Аделина Геннадьевна		6.03.2018

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

Инженерная школа Неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
 Уровень образования Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) Контроля и диагностика  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)  
 Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы: 04.06.2018

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
20.02.2018	<i>Обзор и анализ литературы, посвященный энергопотреблению датчиков технического диагностирования и преобразователям виброакустических колебаний</i>	5
25.03.2018	<i>Ознакомление с установкой для проведения испытаний</i>	10
05.04.2018	<i>Проектирование конструкций модуля сбора и преобразования энергии вибрации</i>	10
10.04.2018	<i>Проведение лабораторных испытаний спроектированных конструкций</i>	10
20.04.2018	<i>Обработка результатов экспериментов и представление полученных данных</i>	15
25.04.2018	<i>Подготовка основного текста диссертации</i>	15
30.04.2018	<i>Написание раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</i>	10
05.05.2018	<i>Написание раздела «Социальная ответственность»</i>	10
15.05.2018	<i>Написание раздела на иностранном языке</i>	5
23.05.2018	<i>Написание раздела «Заключение»</i>	5
1.06.2018	<i>Защита преддипломной практики</i>	5
		100

Составил руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Калиниченко Алексей Николаевич	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Вавилова Г. В.	К.Т.Н.		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 120 с., 22 рис., 32 табл., 46 источников.

Ключевые слова: энергоснабжение, беспроводные датчики, энергия вибрации, пьезоэлектрический преобразователь, электродинамический преобразователь, виброскорость, частота вибрации.

Объектом исследования является питание беспроводных датчиков технического диагностирования техногенных объектов.

Цель работы изучить литературу в области энергоснабжения датчиков технического диагностирования и разработать модуль сбора и преобразования энергии вибрации, которая выделяется из промышленных машин, диагностируемые этими датчиками.

В процессе исследования проводились изучение научной литературы по теме работы, анализ научно-технической документации, разработка модуля сбора и преобразования энергии вибрации, испытания модуля на вибростенде и обработка результатов испытаний.

В результате исследования был спроектирован модуль с выпрямителем, который дает на выходе достаточное количество постоянного напряжения для питания беспроводных датчиков.

Области наибольшего эффективного применения для данного модуля являются промышленные предприятия, использующие 4 класс машин по ГОСТ ИСО 10816-1-97 – Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования.

## Оглавление

Введение.....	13
1 Энергопотребление устройств.....	15
1.1 Датчики технического диагностирования.....	16
1.2 Источники энергоснабжения.....	20
1.3 Энергия вибрации.....	23
1.4 Технические параметры вибрационных процессов.....	24
2 Преобразователи виброакустических колебаний.....	31
2.1 Пьезоэлектрический преобразователь.....	35
2.2 Электродинамический преобразователь.....	39
3 Модуль сбора и преобразования вибрации.....	45
3.1 Исследование конструкции электродинамического преобразователя №1.....	49
3.2 Исследование конструкции электродинамического преобразователя №2.....	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 63	
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	63
4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
4.3 SWOT-анализ.....	66
4.4 План проекта.....	70
4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	70
4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	71
4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	72
4.5 Бюджет научного исследования.....	76
4.5.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	76
4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.....	79
4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы.....	80

4.5.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	82
4.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды .....	83
5	Социальная ответственность .....	84
5.1	Производственная безопасность .....	84
5.1.1	Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	85
5.1.2	Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны ...	86
5.1.3	Повышенный уровень шума .....	87
5.1.4	Повышенный уровень вибрации .....	89
5.1.5	Поражение электрическим током.....	91
5.1.6	Электромагнитное поле.....	93
5.2	Экологическая безопасность.....	94
5.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	94
5.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	96
	Заключение .....	99
	Список используемой литературы .....	100
	Приложение А .....	104

## **Введение**

Каждый день в промышленные предприятия внедряют новые технологии и оборудование. От эффективности и надежности работы этого оборудования зависит качество выпускаемого изделия и производительность труда. Следовательно, каждое оборудование должно работать безотказно. Если своевременно не произвести необходимые профилактические работы, оборудование потеряет производительность, начнет выдавать брак, может возникнуть аварийная ситуация. Для поддержания технологического оборудования в работоспособном состоянии на каждом предприятии проводится техническая диагностика.

Основной задачей технического диагностирования является обеспечение безопасности, функциональной надёжности и эффективности работы технического объекта, а также сокращение затрат на его техническое обслуживание и уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт. Техническое состояние оборудования определяют с помощью диагностических параметров (температура, влажность, давление, скорость и интенсивность воздушных потоков).

Выделение широкого перечня параметров, характеризующих состояние промышленных машин, и их мониторинг в режиме реального времени помогает получить знания о состоянии машин. Для получения диагностических параметров применяются различные датчики. Эти датчики в свою очередь могут быть двух типов: проводными или беспроводными. Главное отличие их друг от друга – это способ энергопотребления. Проводные питаются от электросети, а беспроводные от автономного источника питания.

Беспроводные датчики применяются для непрерывного мониторинга на критически важном оборудовании, выход из строя которого может привести к крупным авариям или большим экономическим потерям. Большим недостатком автономных датчиков является необходимость контролировать элемент питания и своевременно осуществлять его замену.

Целью данной работы является обеспечение питанием беспроводных датчиков на техногенных объектах с помощью преобразования энергии вибрации, которая возникает при работе этих объектов.

Принцип работы этого модуля сбора и преобразования энергии основан на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- провести обзор научной литературы в области энергопотребления датчиков технического диагностирования и преобразователей виброакустических колебаний;

- проанализировать НТД по уровню вибрации при работе промышленных машин;

- разработать и спроектировать модуль сбора и преобразования энергии вибрации на техногенных объектах для питания беспроводных датчиков;

- ознакомиться с установкой для проведения испытаний;

- провести лабораторные испытания спроектированных конструкций;

- оценить эффективность спроектированного модуля.

При тщательном проектировании устройство для сбора энергии вибрации может даже заменить батареи в некоторых беспроводных датчиков.

## 1 Энергопотребление устройств

Невозможно представить себе сегодняшнюю жизнь без электричества. Универсальность в применении, дешевизна, простота транспортировки потребителю сделали электроэнергию неотъемлемым атрибутом окружающего мира. Использование электроэнергии стало настолько обыденным, что мы уже не обращаем внимания на свою зависимость от электричества.

Упрощенный процесс производства и транспортировки электроэнергии выглядит следующим образом: на электростанциях механическая, тепловая, атомная или другая энергия превращается в электрическую, по линиям электропередач передается к потребителям и непосредственно перед источниками ее потребления преобразуется в нужный стандарт.

К сожалению, по различным причинам характеристики электрической сети, питающей оборудование, не являются стабильными. Все отклонения величины или формы подаваемого напряжения от требований стандарта принято называть искажениями либо помехами. Причины, вызывающие эти искажения в электропитании, условно можно разделить следующим образом:

- субъективные, относящиеся к локальным особенностям построения и эксплуатации электросети - изношенность оборудования в системе энергоснабжения, перегрузка сетей из-за недостатка средств на их развитие, плохое качество работ или ошибки персонала при управлении и ремонте сетей и т. д;

- объективные, объясняющиеся базовыми физическими законами функционирования электрических сетей - воздействие на электросеть различных потребителей энергии в моменты их работы, включения или отключения;

- форс-мажорные, вызванные действием непреодолимой силы или их последствиями - удары молний в элементы электросети, обрывы ЛЭП при стихийных бедствиях и др.

Основными типами помех, влияющими на работу электрооборудования, являются: импульсные высоковольтные броски, выбросы напряжения, длительное падение напряжения, интерференция, кратковременное повышение или понижение напряжения, нестабильность формы напряжения, полное отключение электропитания.

В настоящее время существует оборудование и подходы, позволяющие спроектировать и создать автономные локальные системы бесперебойного энергоснабжения, обеспечивающие независимость потребителей электроэнергии от помех в обычной энергосети. В зависимости от класса оборудования и конфигурации такие системы в состоянии нейтрализовать либо все, либо только определенный набор помех.

Далее более подробно рассмотрим датчики технического диагностирования. Как и любому оборудованию, датчикам для функционирования необходимо электроснабжение, поэтому типу питания различают два типа: проводные и беспроводные.

### **1.1 Датчики технического диагностирования**

Датчики технического диагностирования являются важнейшими функциональными элементами электронных средств диагностирования. Они служат в качестве первичных носителей информации о диагностируемом объекте и оказывают влияние на правильный выбор комплекса вторичной аппаратуры (питающей, усилительно-преобразующей и регистрирующей), т. е. на структуру средств технического диагностирования в целом с учетом рациональной точности, надежности, помехоустойчивости и стоимости.

Датчики, являясь первичными элементами средств диагностирования, осуществляют связь этих средств с объектом путем преобразования контролируемых параметров в электрические сигналы, поступающие во входные устройства диагностического средства. Таким образом, датчики в средствах технического диагностирования обеспечивают преобразование контролируемых физических величин в соответствующие этим величинам электрические сигналы с тем, чтобы при дальнейших преобразованиях,

регистрации и обработке можно было бы получить результаты в форме измеряемой физической величины в функции времени. Преобразование измеряемой физической величины в электрический сигнал осуществляется в датчиках на основе использования зависимости электрических параметров различных физических тел от внешних воздействий.

Анализируя эти электрические сигналы, определяют работоспособность диагностируемого объекта, необходимость профилактических работ, производительность оборудования, возникновение аварийной ситуации.

Датчики технического диагностирования выполняют функции по обеспечению безопасности, функциональной надёжности и эффективности работы технического объекта, а также по сокращению затрат на его техническое обслуживание и уменьшение потерь от простоев в результате отказов и преждевременных выводов в ремонт.

Так как датчики имеют огромную важность в работе промышленных оборудований необходимо обеспечить бесперебойную работу. Проблемой для бесперебойной работы датчиков может быть энергоснабжение. По типу энергоснабжения различают: проводные и беспроводные датчики.

Проводные и беспроводные системы мониторинга имеют определенные плюсы и минусы друг перед другом. Далее более подробно рассмотрены эти системы.

### **1.1.1 Проводные устройства**

Преимущества систем проводного мониторинга:

- высокая безопасность: Благодаря передаче данных только по проводным каналам взлом проводной системы мониторинга является крайне сложной задачей. Использование локальной проводной сети помогает контролировать перечень лиц, которые имеют доступ к системе мониторинга и генерируемым ею данным;

- надежность: Традиционные проводные решения для мониторинга используют прямые физические соединения, практически не подверженные

влиянию помех, что выгодно отличает такие решения от беспроводных систем;

- относительно низкие расходы на эксплуатацию оборудования: Отсутствие батарей, которые периодически требуют замены, делает проводные датчики более дешевыми в эксплуатации по сравнению с их беспроводными аналогами. Это касается как расходов на комплектующие, так и затрат на оплату труда, связанных с техобслуживанием. Не придется тратить время на поиск и замену отслуживших свое батарей в сенсорах;

- скорость: Беспроводные сети медленнее, чем проводные. Качество передачи данных по беспроводному каналу может резко упасть из-за внешних воздействий вроде помех от других электронных устройств;

Недостатки систем проводного мониторинга:

- отсутствие мобильности: Поскольку для развертывания проводной системы мониторинга необходимо создание физической сети кабелей, подобным решениям зачастую не хватает гибкости при возникновении необходимости в перемещении датчиков;

- трудности с масштабируемостью: Внесение изменений в массив датчиков с целью его расширения или уменьшения в данном случае также сопряжено с определенными трудностями. Развертывание новых и изменение конфигурации уже существующих кабелей часто отнимает много времени и требует значительных усилий;

- риск повреждения кабеля: Это один из наиболее серьезных недостатков проводных систем мониторинга. Повреждение кабеля, соединяющего ключевые элементы системы, может вывести ее из строя. При этом следует помнить, что кабель может быть отсоединен или поврежден из-за человеческой ошибки в процессе расширения сети;

- относительно высокие монтажные расходы: Начальные затраты на установку проводной системы мониторинга могут быть довольно высокими. Кабели придется пропускать через стены, под фальшполом и над потолком. Высокие затраты на рабочую силу, связанные с реализацией подобных

проектов. А если впоследствии будет обнаружена проблема, значительные трудности и затраты также может вызвать получение доступа к проблемным кабелям.

### **1.1.2 Беспроводные устройства**

Преимущества систем беспроводного мониторинга:

- простое развертывание: Одним из основных преимуществ систем беспроводного мониторинга является их способность передавать данные без необходимости прокладки физических кабелей внутри помещений, через стены, фальшпол и потолок. При этом современные беспроводные датчики также поддерживают технологию автоматического обнаружения и настройки, дополнительно упрощая и ускоряя процесс установки. Не придется тратить время на кабель-менеджмент или ремонт поврежденных кабелей;

- легкость при масштабировании: При использовании беспроводной системы мониторинга масштабирование сенсорной сети перестает быть проблемой. Можно забыть о необходимости прокладки дополнительных проводов для расширения сети. Современные беспроводные сети мониторинга способны принимать данные из 150 отдельных датчиков, что значительно уменьшает необходимость в создании нескольких сетей мониторинга.

Недостатки систем беспроводного мониторинга

- короткий срок службы от одного заряда батареи: Одна из наиболее распространенных проблем при эксплуатации беспроводных датчиков – малое время автономной работы. Причем срок службы датчика от одного заряда батарей уменьшается по мере увеличения скорости передачи данных;

- более низкие скорости по сравнению с проводными решениями для мониторинга;

- сложности при настройке: Настройка беспроводных сенсорных сетей для достижения оптимальной производительности может представлять определенные сложности, если в массив датчиков периодически вносятся изменения;

- ухудшение качества сигнала из-за помех: Беспроводные каналы передачи данных всегда характеризовались ухудшением качества сигнала из-за помех и разнообразных препятствий на пути радиосигнала. Стены и двери, экранированные зоны, а также другие устройства, работающие на той же частоте, могут привести к снижению скорости передачи данных и даже сокращению периода работы сенсора от батареи.

Чтобы устранить один из недостатков, а именно влияние заряда батареи на работоспособность беспроводных устройств, было решено разработать модуль источника энергии для питания этих устройств.

## **1.2 Источники энергоснабжения**

В настоящее время актуальна проблема использования источников энергии, так как человечество использует не возобновляемые источники энергии – уголь, газ, нефть. Запасы этих источников становится все меньше и их может не хватить следующему поколению, поэтому необходимо искать другие решения. Для углубления вопроса рассмотрены актуальные альтернативные источники энергии.

Самыми распространенными альтернативными источниками энергии являются солнечная энергия, ветроэнергетика и геотермальная энергетика.

Для получения солнечной энергии используются солнечные батареи. Основа солнечной батареи — специальные кристаллы, которые улавливают энергию. Существует два вида фотоэлементов: монокристаллические и поликристаллические. Первые более долговечны и имеют КПД около 13%, а вторые быстрее выходят из строя, их КПД несколько ниже — менее 9%. Однако монокристаллические фотоэлементы хорошо работают лишь при стабильном потоке солнечной энергии, в облачный день их эффективность становится значительно ниже. А вот поликристаллические элементы переносят капризы погоды гораздо лучше.

Солнечный свет, попадая на батареи из обогащенных кристаллов кремния, сбивает электрон с орбиты. На его место тут же стремится другой, таким образом, получается непрерывная подвижная цепочка, которая и

создает ток. Он при необходимости сразу используется для обеспечения приборов или накапливается в виде электроэнергии в специальных аккумуляторах. Популярность этого способа обоснована тем, что он позволяет получить более 120 Вт всего с одного квадратного метра солнечной батареи. При этом панели имеют сравнительно небольшую толщину, что позволяет размещать их практически везде [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Ветрогенератор представляет собой систему лопастей, соединенных с генератором через редуктор или напрямую, системы электронного управления и батареи. Приемлемых показателей ветрогенераторы достигают при высоте мачты более 15 метров. Низкие мачты «работают» 15% дней в году, высокие – до 30%. Современные разработки формы лопастей приспособили ветрогенераторы под все условия эксплуатации и движения воздуха: тихоходные, быстроходные, роторные. Тихоходные предназначены для скоростей ветра 2-6 м/с, представляют собой ветровое колесо с большим количеством лопастей 15 – 30 шт. Они низкошумны, хорошо запускаются в малый ветер, но обладают малым КПД и большой парусностью [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Быстроходные рассчитаны под ветер 5 -15 м/с, имеют 3 – 4 лопасти. Отличаются высоким КПД и шумом, самые распространенные в мире. Роторные представляют собой бочку с вертикальными лопастями. Не требуют ориентирования по ветру, самый низкий уровень шумов, но все перечеркивает самый низкий КПД. Использование ветрогенераторов в частном домостроении имеет смысл как один из источников энергии [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Принцип действия геотермальной энергетики основан на сборе любого низкотемпературного потенциала и превращения его в тепло. Подходит все, от чего можно взять положительную температуру: грунт, вода – скважина или водоем, воздух. Физические процессы те же, что в компрессоре холодильника, только наоборот, вырабатывается не холод, а тепло. В замкнутом контуре

циркулирует жидкость с низкой температурой кипения, отбирая тепло у окружающей среды закипает, конденсируясь – отдает тепло дому.

В качестве источника энергии также может служить энергия вибрации. Например, для преобразования энергии вибрации используются пьезоэлектрические генераторы. На основе пьезоэлектрических генераторов стоит использование кинетической энергии.

Существуют экспериментальные установки, которые позволяют получать электроэнергию за счет использования кинетической энергии - пешеходные дорожки, турникеты на железнодорожных вокзалах, специальный танцпол со встроенными в него пьезоэлектрическими генераторами. Есть идеи в ближайшем будущем создать специальные "зеленые тренажерные залы", в которых группа спортивных тренажерных велосипедов сможет, по словам производителей, генерировать до 3,6 мегаватт возобновляемой электроэнергии в год.

Пьезоэлектрические пьезогенераторы являются преобразователями механической энергии в электрическую при циклическом нагружении, при этом переменное напряжение преобразуется с помощью мостовых выпрямителей в постоянное. Поскольку пьезопреобразователь работает в течение продолжительного времени с относительно малой электрической энергией, производимой за один цикл, как правило, используется система накопления и хранения энергии. Для стабилизации выходного напряжения пьезогенератора на заданном уровне используется система с обратной связью, специальный контроллер. Контроллер также обеспечивает согласование импеданса пьезогенератора с выходным импедансом потребителя энергии. Структурная схема такого пьезопреобразователя представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схема преобразователя механической энергии в электрическую энергию.

Более подробно энергия вибрации рассмотрена в следующем разделе.

### 1.3 Энергия вибрации

Вибрация – механические колебания твердых тел. Вибрация имеет огромное влияние в жизни человека, как на здоровье, так и использовании её в технике. Вибрация присутствует в различных измерительных аппаратах, летательных аппаратах, энергетических оборудовании, транспортных средствах. В одних случаях вибрация вредна, а в других бывает полезна.

Существует широкий класс машин, в которых вибрация является полезной и служит основой рабочего процесса. Различают вибрационное оборудование для дробления и измельчения разнообразных материалов, для разделения сыпучих и многофазных сред, резания металлов, разрушения пород, транспортировки, погрузки и др.

Однако, вибрация может оказаться причиной ненормального функционирования технических систем и оборудования, и привести к серьезным последствиям. Также, вибрация при определенных уровнях оказывает вредное влияние на человека, поэтому применяются различные методы и средства для ее снижения до минимальных уровней.

Для оценки технического состояния и решением задачи поиска неисправностей занимается вибрационная диагностика. Вибрационная диагностика основана на анализе параметров вибрации, создаваемых работающим оборудованием.

## 1.4 Технические параметры вибрационных процессов

Как говорилось ранее, диагностирование состояния машин, и оценка степени опасности повреждения на основе данных контроля вибрации - один из наиболее эффективных методов повышения надежности оборудования.

Вибрационное диагностирование объектов проводится в три этапа: первичное описание вибрационного состояния объекта, выделение признаков и принятие решения.

На этапе поиска информативных признаков ограничивают число измеряемых параметров вибрации, шума и ударов. При этом из множества параметров, характеризующих вибрационный процесс, выделяют только те, которые прямо или косвенно характеризуют состояние объекта. По этим параметрам формируют информативную систему признаков, используемых при диагностировании.

Основные параметры различных вибрационных процессов, измеряемые для определения состояния машин методами вибродиагностики, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры вибрационных процессов

Основные измеряемые параметры	Математическое описание	Обозначения
Моногармоническая вибрация		
Виброперемещение	$x(t) = X_0 \sin(\omega t + \varphi)$	$X_0$ - амплитуда виброперемещения
Виброскорость	$v(t) = V_0 \cos(\omega t + \varphi)$	$V_0 = \omega X_0$
Виброускорение	$a(t) = -A_0 \sin(\omega t + \varphi)$	$A_0 = \omega^2 X_0$ ; $\omega, \varphi$ - круговая частота и фаза колебания соответственно
Резкость	$u = da(t) / dt$	
Полигармоническая вибрация		

Основные измеряемые параметры	Математическое описание	Обозначения
Полигармонический процесс	$x(t) = \sum_{n=1}^{\infty} X_n \cos(\omega t + \varphi_n)$	$X_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; n = 1, 2, 3, \dots;$ $a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos n\omega t dt;$ $b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin 2n\omega t dt;$
Размах колебаний	$r_r = \max u(t) - \min u(t)$	$\varphi_n = \arctg(b_n / a_n)$
Широкополосная случайная вибрация		
Дисперсия	$D_x = \lim \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - m_x(t)]^2 dt;$ <p style="text-align: center;">Для стационарного эргодинамического процесса</p> $D_x = \overline{x^2(t)} - [\overline{x(t)}]^2$	$m_x(t) = \lim \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt;$
Спектральная плотность мощности	$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau$	$R(\tau) = M[x(t)x(t+\tau)]$ - корреляционная функция; М – математическое ожидание
Среднеквадратическое отклонение	$\sigma_x = \sqrt{D_x}$	
Акустическая (шум) вибрация		
Среднеквадратическое значение звукового давления	$p = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$	$p(t)$ - мгновенное значение звукового давления; $T$ – время интегрирования
Уровень акустической мощности	$L_w = 10 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right)$	$P_0$ – акустическая мощность, принимаемая за опорную; $P$ – определяемая акустическая мощность.
Ударная вибрация		
Линейное перемещение	$x = X_0 + \int_0^t v(t) dt \text{ при } 0 \leq t \leq t_k;$ $x = X_0 + \int_0^t v(t) dt \text{ при } t \geq t_k;$	
Линейная скорость	$v = v_0 + \int_0^t a(t) dt \text{ при } 0 \leq t \leq t_k;$ $v = v_0 + \int_0^t a(t) dt \text{ при } t \geq t_k;$	
Линейное ускорение	$a=0 \text{ при } t \leq 0;$ $a=a(t) \text{ при } 0 \leq t \leq t_k;$ $a=0 \text{ при } t \geq t_k;$	

Основные измеряемые параметры	Математическое описание	Обозначения
Ударный спектр	$S(f) = 2\pi f [F(t)]$	$F(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F(t)e^{-i\omega t} dt$ - преобразование Фурье
Длительность удара (на уровне 3 дБ)	$\Delta T$	

При выборе измеряемых параметров вибрации необходимо учитывать типы исследуемых механизмов, а также амплитудный и частотный диапазон измеряемых колебаний.

Условно частотный диапазон делится на три вида: низкочастотный, среднечастотный и высокочастотный. В низкочастотном диапазоне принято измерять параметры виброперемещения, в среднечастотном - виброскорости, а в высокочастотном - виброускорения.

Так как для данной работы интерес вызывает работоспособность и эффективность вибрационных машин рассматривается скорость вибрации. Виброскорость определяет импульс силы и кинетическую энергию.

Нормирование вибрации описаны в нормативно-технических документах для различных машин. Общие сведения описаны в «ГОСТ ИСО 10816-1-97 – Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования». В данном НТД приведены примерные критерии оценки вибрационного состояния машин различных типов. По этим критериям можно определить верхние границы зон, выраженные в СКЗ виброскорости для машин различных классов. Основным преимуществом измерения среднеквадратических значений является независимость этих значений от сдвигов фаз между отдельными составляющими спектров измеряемой вибрации. При этом учитывается временное развитие колебаний [23].

В таблице 2 представлены уровни вибрации машин различных классов по общим требованиям.

Таблица 2 – Уровни вибрации

Класс машин	Предельное СКЗ виброскорости, мм/с			
	хорошо	приемлемо	еще допустимо	не допустимо
1	<0,7	0,7...1,8	1,8...4,5	>4,5
2	<1,1	1,1...2,8	2,8...7,1	>7,1
3	<1,8	1,8...4,5	4,5...11,0	>11,0
4	<2,8	2,8...7,1	7,1...18,0	>18,0

На таблицах 3-5 рассмотрены уровни вибраций для различных машин.

Таблица 3 – Уровни вибрации генераторного электроагрегата с приводом от двигателя внутреннего сгорания

Скорость двигателя, мин <sup>-1</sup>	Номинальная выходная мощность электроагрегата		Предельное СКЗ виброскорости, мм/с		
	кВ·А	кВт	Двигатель	Генератор	
				Уровень 1	Уровень 2
От 2000 до 3600	15 и менее	12 и менее	-	70	80
	50 и менее	40 и менее	-	50	60
	Более 50	Более 40	-	40	50
От 1300 до 2000	10 и менее	8 и менее	-	-	-
	От 10 до 50	От 8 до 40	-	40	-
	От 50 до 125	От 40 до 100	-	25	30
	От 125 до 250	От 100 до 200	45	25	30
	Более 250	Более 200	45	20	28
От 720 до 1300	От 250 до 1250	От 200 до 1000	45	20	24
	Более 1250	Более 1000	45	18	22
Менее 720	Более 1250	Более 1000	45	15 (10)	20 (15)

Таблица 4 – Уровни вибрации трехфазных явнополюсных генераторов и генераторов-двигателей

Частота вибрации, Гц	Предельное СКЗ виброскорости, мм/с
1 и менее	0,18
3	0,45
6	0,72
10	0,8
16	0,96
30 и более	1,2

Таблица 5 – Уровни вибрации промышленных вентиляторов

Вибрационное состояние	Категория вентилятора	Предельное СКЗ виброскорости, мм/с	
		Жесткая опора	Податливая опора
Пуск в эксплуатацию	BV-1	10	11,2
	BV-2	5,6	9,0
	BV-3	4,5	6,3
	BV-4	2,8	4,5
	BV-5	1,8	2,8
Предупреждение	BV-1	10,6	14,0

Вибрационное состояние	Категория вентилятора	Предельное СКЗ виброскорости, мм/с	
		Жесткая опора	Податливая опора
	BV-2	9,0	14,0
	BV-3	7,1	11,8
	BV-4	4,5	7,1
	BV-5	4,0	5,6
Останов	BV-1	*	*
	BV-2	*	*
	BV-3	9,0	12,5
	BV-4	7,1	11,2
	BV-5	5,6	7,1

\* Уровень останова для вентиляторов категорий BV-1 и BV-2 устанавливаются на основе долговременного анализа результатов измерений вибрации.

В таблице 6 представлены допустимые значения СКЗ виброскорости на центробежных и винтовых насосных и компрессорных агрегатах с приводом от электродвигателей и паровых турбин с редукторами или мультипликаторами мощностью более 2 кВт и номинальной частотой вращения от 120 до 15000 мин<sup>-1</sup>.

Таблица 6 – Уровни вибрации центробежных насосных и компрессорных агрегатов

Вибрационное состояние	Предельное СКЗ виброскорости, мм/с	
	Насос	Электродвигатель
Пуск в эксплуатацию	2,8	2,8
	4,1	4,5
	5,4	7,1
	6,3	4,5
Предупреждение	8,7	7,1
	11,2	11,2
	8,7	7,1
Останов	11,2	11,2
	14,1	18

Далее в таблице 7 представлены уровни вибрации и допустимые среднеквадратичные значения виброскорости стационарных поршневых компрессоров.

Таблица 7 – Допустимые значения СКЗ виброскорости стационарных поршневых компрессоров

Вибрационное состояние	Скорость вращения вала, мин <sup>-1</sup>					
	167	300	375	500	750	1000
Точка 1 ("Осевое направление поршня")						
Пуск в эксплуатацию	2,8	0,9	0,9	2,8	2,8	3,6
Предупреждение	3,6	1,8	1,8	4,5	5,6	7,1
Останов	7,1	3,6	3,6	8,7	11,2	14
Точки 2, 3 ("Радиальное направление поршня", "Клапан")						
Пуск в эксплуатацию	1,8	2,3	2,8	4,5	3,6	4,5
Предупреждение	2,8	4,5	5,6	6,3	7,1	8,7
Останов	5,6	8,7	11,2	11,2	14	18
Точки 4, 5 ("Шток", "Крейцкопф")						
Пуск в эксплуатацию	2,8	0,9	0,9	2,8	2,8	3,6
Предупреждение	3,6	1,8	1,8	4,5	5,6	7,1
Останов	7,1	3,6	3,6	8,7	11,2	14
Точка 6, 7 ("Осевое направление ползуна", "Коренной подшипник")						
Пуск в эксплуатацию	2,8	2,8	2,8	3,6	4,5	4,5
Предупреждение	3,6	4,5	5,6	7,1	8,7	8,7
Останов	7,1	9	11,2	14	18	18

Допустимые параметры вибрации на стационарных энергетических паротурбинных агрегатов мощностью 100 МВт и более, включающие в себя паровую турбину и синхронный генератор, представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Уровни вибрации турбоагрегата

Условия работы	Предельное СКЗ виброскорости, мм/с, для скорости вращения, с <sup>-1</sup>			
	25	30	50	60
При вводе в эксплуатацию	До 2,5	До 2,7	До 4	До 7,5
Без ограничений	От 2,5 до 5	От 2,7 до 5,55	От 4 до 8,25	От 5,625 до 11,25
Не более 30 сут	От 5 до 8	От 5,55 до 8,7	От 8,25 до 13	От 11,25 до 18
Не допускается	Св. 8	Св. 8,7	Св. 13	Св. 18

Исследование технических параметров вибрационных процессов на техногенных объектах в НТД показал, что диапазон рабочих частот лежит в

области от 1 до 50 Гц. Так как для эффективного преобразования механической энергии, виброскорость должна быть наибольшей более подробно рассмотрены машины класса 4.

Среднеквадратические значения виброскорости при нормальной работе машин класса 4 можно получить до 7,1 мм/с, так же допустимо до 18 мм/с.

Для измерения параметров вибрации применяют различные измерительные преобразователи виброакустических колебаний. В следующем разделе рассмотрены типы измерительных преобразователей.

## **2 Преобразователи виброакустических колебаний**

Измерительный преобразователь является средством измерений, преобразующее измеряемую физическую величину в сигнал для последующей передачи, регистрации или обработки. Обязательное условие измерительного преобразования — сохранение в выходной величине измерительного преобразователя информации о количественном значении измеряемой величины. Измерительное преобразование — единственный способ построения любых измерительных устройств. Отличие измерительного преобразователя от других видов преобразователей — способность осуществлять преобразования с установленной точностью. Измерительное преобразование одного и того же вида (например, температуры в механическое перемещение) может осуществляться различными измерительными преобразователями (ртутным термометром, биметаллическим элементом, термопарой с милливольтметром и т. п.).

Измерительные преобразователи вибрации основаны на различных физических принципах преобразования механических колебаний в электрический сигнал. Классификация измерительных преобразователей представлена на рисунке 2.

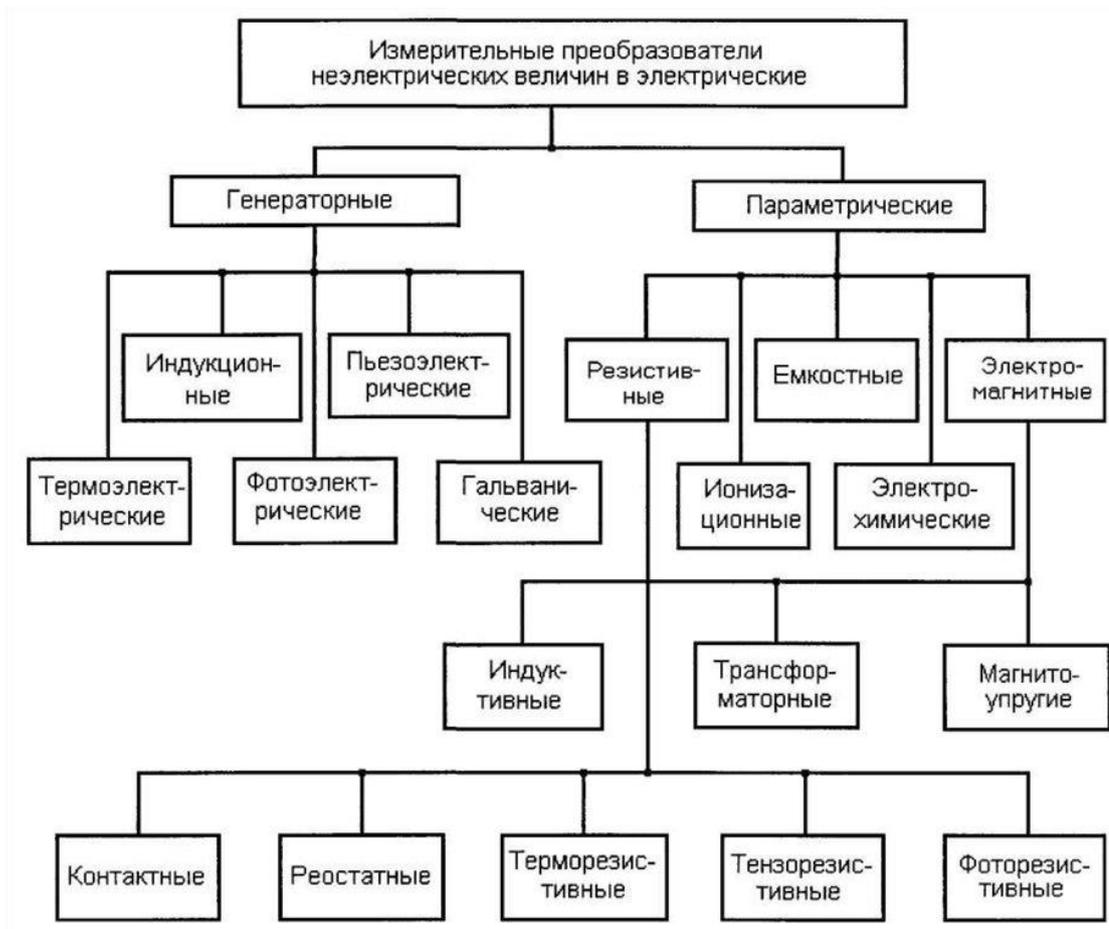


Рисунок 2 - Классификация измерительных преобразователей

По принципу работы различают измерительные преобразователи параметрические и генераторные.

В параметрических преобразователях изменение входной неэлектрической величины преобразуется в изменение электрических параметров схемы, например, сопротивления, емкости, индуктивности, частоты. В генераторных преобразователях входная величина непосредственно преобразуется в электрическое напряжение, ток.

В параметрических преобразователях измеряемая величина вызывает изменение одного из параметров элемента электрической цепи: сопротивления, индуктивности и емкости.

В параметрических преобразователях входная величина, воздействующая на определенный параметр преобразователя, приводит к изменению этого параметра. Особенностью работы параметрических

преобразователей является потребность в дополнительном источнике энергии для получения или дальнейшего преобразования измерительной информации.

В параметрических преобразователях выходной величиной является параметр электрической цепи. При использовании параметрических преобразователей необходим дополнительный источник питания. Параметрические преобразователи весьма разнообразны по своему устройству, назначению и областям применения [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

В генераторных преобразователях энергия, необходимая для формирования выходной величины и, отбирается у измеряемого объекта [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

При измерении параметров вибрации используют два метода измерения: кинематический и динамический.

Кинематический метод заключается в том, что измеряют координаты точек объекта относительно выбранной неподвижной системы координат. Измерительные преобразователи, основанные на этом методе измерения, называют преобразователями относительной вибрации.

Динамический метод основан на том, что параметры вибрации измеряют относительно искусственной неподвижной системы отсчета, в большинстве случаев инерционного элемента, связанного с объектом через упругий подвес. Такие приборы называют преобразователями абсолютной вибрации, чаще сейсмическими системами.

Принципиальная схема простейшей сейсмической системы с одной степенью свободы представлена на рисунке 3. Сейсмическая масса  $m$  соединяется с основанием измерительного преобразователя через пружину с коэффициентом жесткости  $c$ . Для гашения собственных колебаний параллельно пружине установлен демпфер с коэффициентом сопротивления  $h$ .

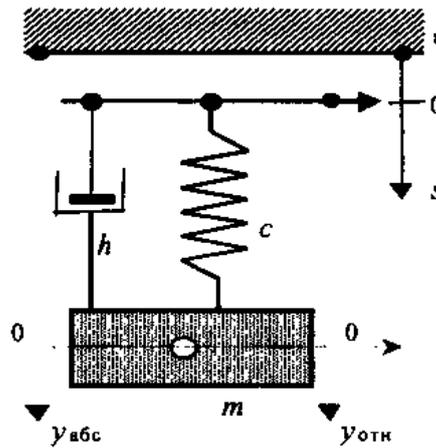


Рисунок 3 – Принципиальная схема простейшей сейсмической системы с одной степенью свободы

Уравнение, связывающее модули амплитуды установившихся колебаний объекта  $e(t)$  и относительных перемещений сейсмической массы  $x(t)$ , имеет вид

$$|x_a| = |e_a| \frac{(\omega / \omega_0)^2}{\sqrt{[1 - (\omega / \omega_0)^2]^2 + 4\beta^2 (\omega / \omega_0)^2}} \quad (1),$$

а сдвиг фаз колебаний массы  $m$  относительно корпуса измерительного преобразователя в виде

$$\varphi = \arctg \frac{2\beta\omega / \omega_0}{1 - (\omega / \omega_0)^2} \quad (2),$$

где  $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$  - собственная круговая частота колебательной системы массой  $m$  и с коэффициентом жесткости пружины  $c$ ;  $2\beta = \frac{h}{\sqrt{mc}}$  - относительный коэффициент демпфирования с коэффициентом сопротивления  $h$ ;  $e_a$ ,  $\omega_0$  - амплитуда виброперемещения и частота колебаний, воспринимаемых измерительным преобразователем соответственно.

С использованием обозначений относительной частоты  $y = \omega / \omega_0$  и модуля амплитудно-частотной характеристики  $|v| = |x_a / e_a|$  зависимость амплитуды колебаний массы  $m$  относительно корпуса измерительного преобразователя приобретает вид

$$|v| = \frac{y^2}{\sqrt{[1 - y^2]^2 + 4\beta^2(y)^2}} \quad (3).$$

Существует три частотных диапазона, в которых может работать измерительный преобразователь:

1. при  $y \ll 1$ , т.е.  $\omega \ll \omega_0$ ,  $|v| = y^2$ ,  $\varphi = 0$ ;
2. при  $y \gg 1$ , т.е.  $\omega \gg \omega_0$ ,  $|v| = 1$ ,  $|x_a| = |e_a|$ ,  $\varphi = \pi$ ;
3. при  $y \approx 1$ , т.е.  $\omega \approx \omega_0$ ,  $|v| \approx y/2\beta$ ,  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ .

Виброизмерительные приборы, работающие в первом частотном диапазоне  $y \ll 1$ , называются виброакселерометрами, а во втором диапазоне  $y \gg 1$  - виброметрами.

Для вибродиагностики машин и механизмов используют в основном пьезоэлектрические и электродинамические преобразователи, относящиеся к генераторным. Далее более подробно рассмотрены эти преобразователи.

## 2.1 Пьезоэлектрический преобразователь

Пьезоэлектрические преобразователи в основном применяют для измерения параметров абсолютных колебаний невращающихся частей механизмов. Пьезоэлектрические преобразователи обладают высокими метрологическими параметрами, широким амплитудным и частотным диапазоном, простотой конструкций, высокой надежностью и сравнительно низкой стоимостью. Основными недостатками пьезоэлектрических преобразователей являются высокое выходное сопротивление и низкая помехозащищенность. В значительно меньшей степени эти недостатки свойственны пьезоэлектрическим преобразователям, относящимся к классу параметрических преобразователей.

Простейший пьезоэлектрический преобразователь, изображенный на рисунке 4, можно представить в виде пластины, изготовленной из кварца или искусственной пьезокерамики. Для изготовления пьезокерамики применяют цирконат титанат свинца (ЦТС), титанат висмута (ТВ) и др. Пластины

прикрепляют к воспринимающему внешние колебания основанию, на другой стороне пластины располагают груз массой  $t$ .

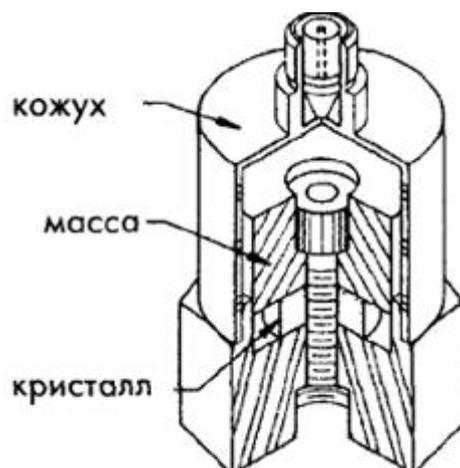


Рисунок 4 – Пьезоэлектрический преобразователь

Собственная частота сейсмической системы такого преобразователя

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_1}{m}} \quad (4),$$

где  $c_1$  - коэффициент упругости пьезоэлемента в направлении приложения силы инерции груза массой  $m$ .

В частотном диапазоне  $f_1 \ll f_0$  на выходе преобразователя образуется заряд  $q(t)$  пропорциональный воспринимаемому виброускорению  $a(t)$ :

$$q(t) = d_{11}ka(t) \quad (5),$$

где  $d_{11}$  и  $k$  - соответственно пьезомодуль и коэффициент преобразования.

Для преобразования заряда  $q(t)$  в электрическое напряжение или ток применяют усилители напряжения или заряда.

При выборе пьезоэлектрических преобразователей для конкретных типов испытаний необходимо учитывать их основные параметры: температурный, амплитудный и частотный диапазоны, коэффициенты преобразования, частоту установочного резонанса и т.д.

Пьезоэлектрический эффект был открыт в 1880 году Джексом и Пьером Кюри. Они заметили, что в некоторых кристаллах при механическом

воздействии на них появляется электрическая поляризация, причем степень ее пропорциональна величине воздействия. Позже Кюри открыл инверсионный пьезоэлектрический эффект — деформирование материалов, помещенных в электрическое поле. Эти явления еще называют прямым и обратным пьезоэлектрическим эффектом **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Пьезоэлектрический эффект присущ некоторым природным кристаллам, таким как кварц и турмалин, которые в течение многих лет использовались в качестве электромеханических преобразователей. Кристаллическая решетка кристаллов, обладающих пьезоэлектрическим эффектом, не имеет центра симметрии. Воздействие (сжимающее или растягивающее), приложенное к такому кристаллу, приводит к поляризации после разделения положительных и отрицательных зарядов, имеющих в каждой отдельной элементарной частице. Эффект практически линейный, то есть степень поляризации прямо пропорциональна величине прилагаемого усилия, но направление поляризации зависимо, так как усилие сжатия или растяжения генерируют электрические поля, а следовательно, и напряжение, противоположной полярности. Соответственно, при помещении кристалла в электрическое поле упругая деформация вызовет увеличение или уменьшение его длины в соответствии с величиной и направлением полярности поля **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

В зависимости от предназначения пьезоэлементы могут иметь самую разнообразную конфигурацию — от плоской до объемной (сферы, полусферы и т. п.) **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

В ходе работы рассмотрели пьезоэлектрический преобразователь в качестве источника энергии вибрации. Исследования проводились на частотах 100 Гц, 50 Гц, 25 Гц и 12,5 Гц, которые являются стандартными частотами вращения, при различных виброускорениях. Определили амплитуду и СКЗ сигнала выходного напряжения.

Для определения характеристик вибрации построили зависимости СКЗ амплитуды выходного напряжения от виброускорения на разных частотах, который представлен на рисунке 5.

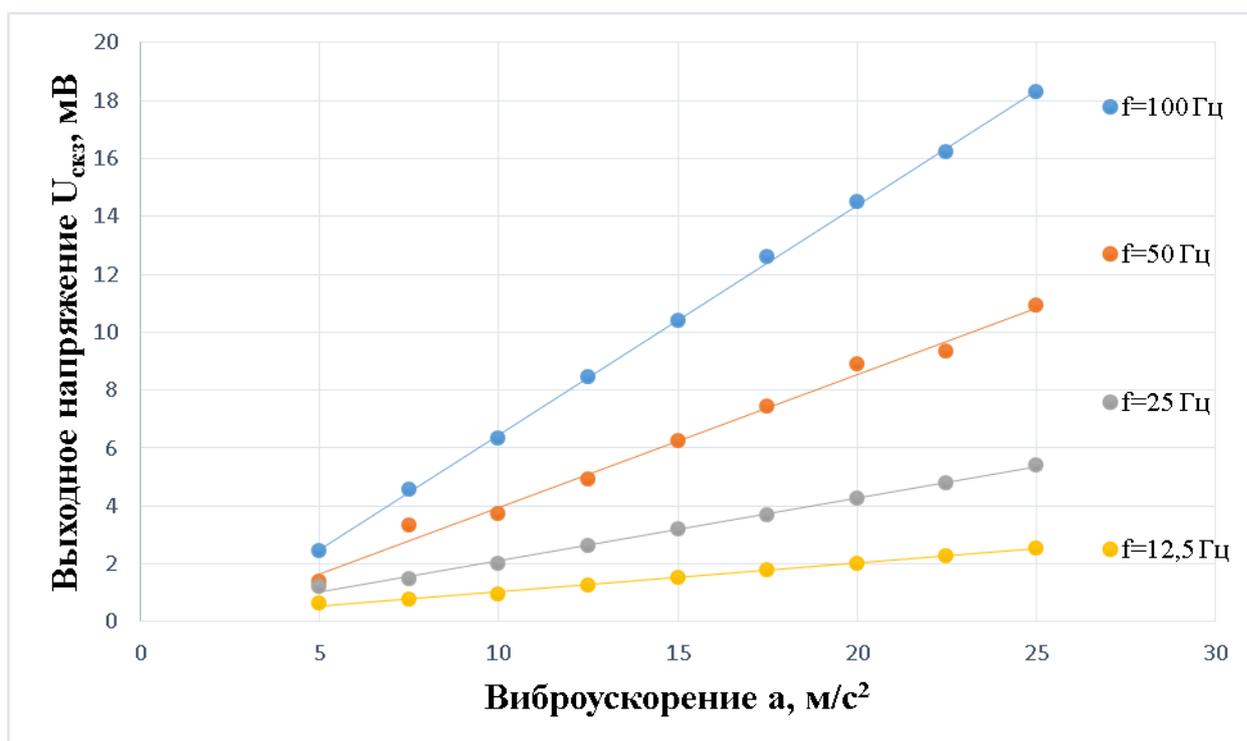


Рисунок 5 – График зависимости СКЗ выходного напряжения от значений виброускорения

Из полученного графика видно, что зависимость является линейной, чем выше частота и виброускорение, тем выше напряжение на выходе. С помощью СКЗ выходного сигнала можно анализировать какое примерно получится на выходе постоянное напряжение, при преобразовании переменного в постоянное. Напряжение выходного сигнала мало, так как использовался измерительный датчик, АЧХ которого представлена на рисунке 6.

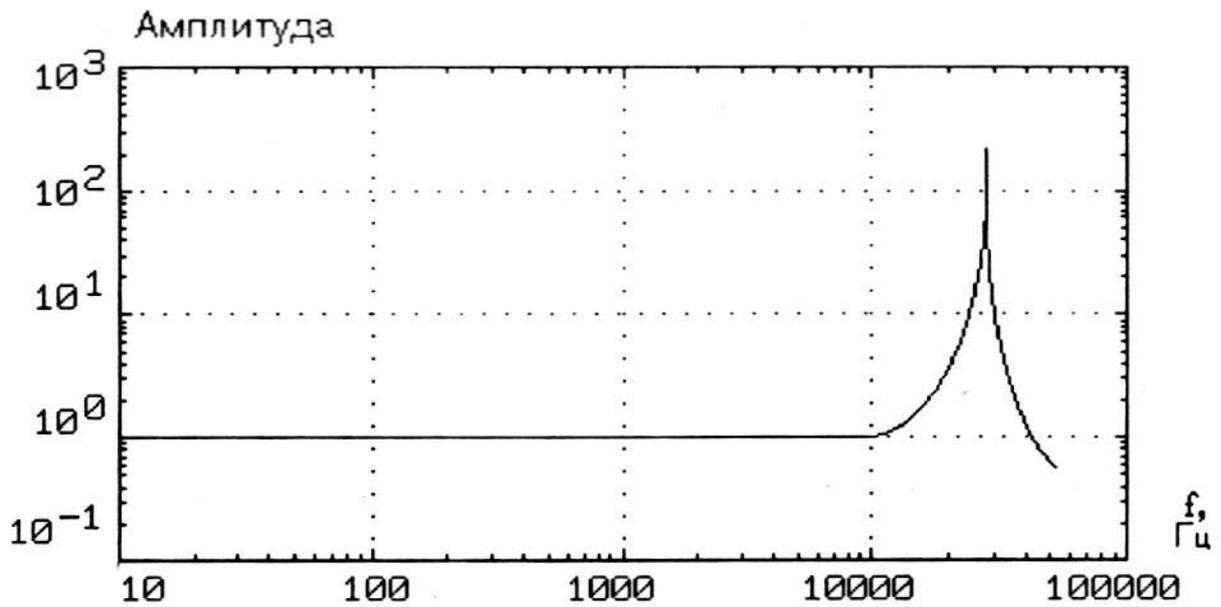


Рисунок 6 – Амплитудно-частотная характеристика вибрационного пьезодатчика

Для получения на выходе необходимого напряжения пьезодатчик должен работать на резонансной частоте. Так как резонансная частота пьезодатчика примерно 20 кГц, на практике невозможно его использовать в качестве источника энергии.

## 2.2 Электродинамический преобразователь

Электродинамический преобразователь - магнитомеханический преобразователь, действие которого основано на изменении геометрических размеров ферромагнитного тела под влиянием измеряемой магнитной индукции. Электродинамические преобразователи применяют для измерения параметров вибрации в частотном диапазоне 1 Гц ... 2 кГц.

Действие электродинамического преобразователя основано на использовании двух физических явлений: электромагнитной индукции и силового взаимодействия тока с магнитным полем. Они выражаются известными законами Фарадея и Ампера, которые с учетом векторного характера величин удобно привести в следующем виде:

$$\Delta e_m(t) = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\Delta l \cdot (B \times v); \quad (6)$$

$$\Delta F_e = \Delta l \cdot (B \times i), \quad (7)$$

где  $\Delta e_m$  - ЭДС индукции участка проводника  $\Delta l$  пересекающего со скоростью  $v$  однородное магнитное поле с индукцией  $B$ ;  $\frac{\partial \Phi}{\partial t}$  - скорость пересечения магнитного потока  $\Phi$ ;  $\Delta F_e$  - сила, действующая в магнитном поле на участок проводника  $\Delta l$ , по которому течет ток  $i$  заданного направления. Закон Фарадея предполагает режим холостого хода ( $i = 0$ ), а закон Ампера — режим заторможенного проводника ( $v = 0$ ).

Электродинамический преобразователь содержит магнитную систему, в зазоре которой расположена катушка с проводом. Обычно магнитная система закреплена на основании, а катушка жестко соединена с сейсмической массой.

При воздействии внешней вибрации  $e(t)$  и относительных колебаниях  $x(t)$  в катушке наводится ЭДС

$$e(t) = BWl_{cp} \frac{dx(t)}{dt} \quad (8),$$

где  $B$ ,  $W$ ,  $l_{cp}$  - магнитная индукция в зазоре, число витков и средний диаметр витка подвижной катушки соответственно.

Электродинамические преобразователи работают на частотах, значительно превышающих собственную частоту сейсмической системы, т.е. при  $\omega \gg 1$ .

К преимуществам электродинамических вибродатчиков следует отнести большой амплитудный диапазон, низкое выходное сопротивление и возможность передачи сигналов по длинной линии связи. Действие большинства параметрических преобразователей основано на изменении комплексных сопротивлений или проводимости электрических цепей.

Типовая конструкция электродинамического преобразователя изображен на рисунке 7.

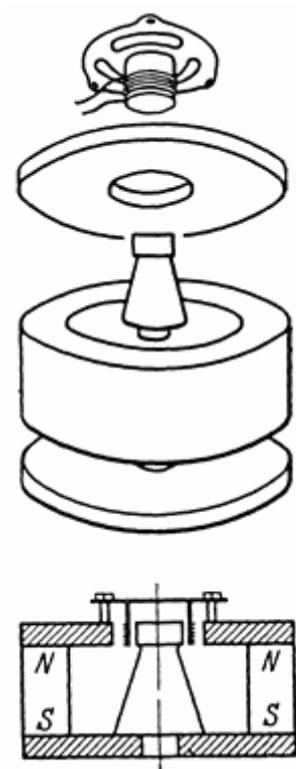


Рисунок 7 – Конструкция электродинамического преобразователя

Сильный кольцевой постоянный магнит создает в узком кольцевом зазоре равномерное магнитное поле. В зазоре помещена обмотка на легком кольцевом каркасе — так называемая подвижная катушка преобразователя. Она подвешена на гибком воротнике или растяжках так, что, колеблясь вдоль своей образующей (вдоль зазора), она не касается магнитной системы. Если к подвижной катушке подвести переменный ток, то, взаимодействуя с магнитным полем постоянного магнита, он вызовет механическую силу, которая будет колебать подвижную катушку. Если к подвижной катушке подсоединена какая-либо нагрузка (например, легкий поршень или диафрагма, излучающая звук в окружающий воздух), то такой преобразователь будет совершать механическую работу, преодолевая активное механическое сопротивление подвеса катушки и сопротивление излучения звука в воздух. Электрическая энергия, подводимая к катушке, частично перейдет в механическую, а частично рассеется в виде джоулева тепла.

Имеется много разновидностей электродинамического преобразователя этого типа, например с плоской катушкой в однородном магнитном поле; с

подвижным магнитом; с преобразованием линейной скорости в угловую и тахогенератором и др. Электродинамические преобразователи имеют высокую чувствительность к скорости и широко применяются при измерении низко- и среднечастотной вибрации в относительно спокойных условиях (в сейсмометрии, при исследовании колебаний сооружений). В сочетании с магнитоэлектрическим гальванометром они могут иметь разнообразные характеристики и экономичны, так как не требуют питания. Их широко используют при измерении угловых скоростей.

Одними из электродинамических преобразователей, также являются сейсмоприемники.

В качестве приемников в сейсморазведке применяются электромеханические преобразователи, которые преобразуют механический сигнал на входе (сейсмический импульс) в электрический сигнал на выходе.

Иначе сейсмоприемники называются сейсмометрами, или геофонами. При измерениях в воде прохождение сейсмической волны сжатия сопровождается мгновенными изменениями давления, улавливаемыми гидрофонами, которые буксируют за кораблем либо подвешивают на буях в толще воды или (на самых мелких местах) помещают на морском дне. Гидрофоны также используются и при измерениях в условиях сильно насыщенных водой грунтов, которые встречаются на болотах.

Приемниками могут служить отдельные геофоны или гидрофоны либо группы этих устройств, последовательное или параллельное соединение которых позволяет получить на выходе суммарный сигнал. Существует несколько разных типов сейсмоприемников, по принципу действия и устройству аналогичных микрофонам. Самый распространенный тип приемника, применяемый сейсмической разведкой на суше, использует электродинамический преобразователь. В мягких грунтах сейсмоприемник устанавливается с помощью штыря, а на твердых жестко крепится. Колебания почвы, вызванные прохождением сейсмической волны, передаются сейсмоприемнику.

В идеале форма выходного сигнала сейсмоприемника почти повторяет колебание почвы. Для сохранения формы сейсмического сигнала сейсмоприемники должны иметь в пределах рассматриваемого частотного диапазона плоскую амплитудную характеристику и минимальные фазовые искажения.

Поэтому резонансная частота сейсмоприемников должна быть гораздо ниже основной частотной полосы сейсмического сигнала, который нужно зарегистрировать. Чаще всего используются сейсмоприемники с резонансной частотой в интервале 4...15 Гц. Чувствительность сейсмоприемника, измеряемая в вольтах на его выходе, отнесенных к единице скорости движения катушки электродинамического преобразователя, определяется числом витков в катушке и напряженностью магнитного поля. Следовательно, для достижения большей чувствительности требуются приборы больших размеров и более массивной конструкции. Миниатюрные сейсмоприемники, применяемые в сейсморазведке, как правило, имеют чувствительность около 10 В/(м/с).

Электродинамические сейсмоприемники чувствительны только к той составляющей колебания почвы, которая совпадает с осью катушки. Продольные волны, распространяющиеся по вертикали от существующих в земле отражающих горизонтов, вызывают вертикальные колебания грунта, поэтому их легче всего обнаружить с помощью сейсмоприемников, содержащих вертикально стоящую катушку.

Для регистрации тех сейсмических колебаний, которые вызывают в основном горизонтальные смещения грунта (как, например, горизонтально поляризованных поперечных волн), требуются сейсмоприемники с горизонтально смонтированной и способной перемещаться только по горизонтали катушкой.

Сейсмоприемники обычно размещаются в виде линейных или площадных групп, в которых выходные сигналы нескольких сейсмоприемников суммируются. Такие группы позволяют образовать

детекторы, обладающие свойством направленности и позволяющие пеленговать источник сейсмосигнала.

Сейсмические усилители предназначены для усиления сигналов в диапазоне частот от нескольких единиц до нескольких сотен герц (в некоторых системах морской сейсморазведки до нескольких килогерц) и для обеспечения записи сигналов с весьма широким динамическим диапазоном амплитуд.

Принцип работы сейсмоприемников послужил прототипом модуля сбора и преобразования энергии вибрации на техногенных объектах.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Потенциальными потребителями готовой продукции являются различные промышленные организации, научно-производственные объединения и научно-исследовательские институты.

### **4.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;

– финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

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

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 14. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Таблица 14 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерии	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. Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
3. Помехоустойчивость	0,05	5	4	4	0,25	0,2	0,2
4. Энергоэкономичность	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
5. Надежность	0,07	5	5	3	0,35	0,35	0,21
6. Уровень шума	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Безопасность	0,09	5	3	5	0,45	0,27	0,45
8. Потребность в ресурсах памяти	0,05	4	4	4	0,2	0,2	0,2
9. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,03	4	4	5	0,12	0,12	0,15
10. Простота эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
11. Качество интеллектуального интерфейса	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
12. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25

Критерии оценки	Вес критерии	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>
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,15	5	5	4	0,75	0,75	0,6
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
3. Цена	0,02	4	4	5	0,08	0,08	0,1
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,02	5	5	5	0,1	0,1	0,1
5. Послепродажное обслуживание	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Финансирование научной разработки	0,01	5	5	4	0,05	0,05	0,04
7. Срок выхода на рынок	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
8. Наличие сертификации разработки	0,01	5	5	5	0,05	0,05	0,05
<b>Итого</b>	<b>1</b>				4,87	4,49	4,4

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 14, подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i, (10)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таким образом, конкурентоспособность научно-исследовательской работы составила 4,87, в то время как двух других аналогов 4,49 и 4,4

соответственно. Результаты показывают, что данная научно-исследовательская работа является конкурентоспособной.

#### **4.3 SWOT-анализ**

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводится в несколько этапов.

1. 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.

Сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей. При этом важно рассматривать сильные стороны и с точки зрения руководства проекта, и с точки зрения тех, кто в нем еще задействован.

Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

В таблице 15 представлен результат первой ступени в матричной форме.

Таблица 15 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Экономичность и энергоэффективность исследования. С2. Простота исследования в сравнении с аналогами. С3. Более низкая стоимость. С4. Наличие бюджетного финансирования. С5. Экологичность технологии	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие компании, способной построить производство исходя из исследования. Сл2. Отсутствие некоторого необходимого оборудования для контроля характеристик. Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования.
<b>Возможности:</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новую технологию. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		

2. Вторым этапом является выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательской работы внешним условиям окружающей среды.

Результаты, представленные в табличной форме, призваны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Каждый символ в таблице обозначает степень соответствия.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта (1)

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	+	+	+
	B2	0	+	+	-	-
	B3	+	-	+	0	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта (2)

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	0	+	0
	B2	+	-	+
	B3	+	-	+

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта (3)

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	У1	+	+	+	-	0
	У2	+	+	+	-	-
	У3	-	-	-	+	-

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта (4)

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	0
	У2	+	0	+
	У3	-	0	+

В результате получаем сильно коррелирующие параметры:

- 1) B1C3C4C5, B2C2C3, B3C1C3 => B1B2C3, B2B3C3, B1B3C3
- 2) B1Сл2, B2Сл1Сл3, B3Сл1Сл3 => B2B3Сл1Сл2
- 3) У1C1C2C3, У2C1C2C3, У3C4 => У1У3C1C2C3

4) У2Сл1Сл3, У3Сл3 => У2У3Сл3

Исходя из этих данных, получаем наиболее выгодные направления реализации проекта.

3. Составим итоговую матрицу для заключительного третьего этапа, в котором будут описаны основные решения научно-исследовательского проекта.

Таблица 20 – Итоговая матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Экономичность и энергоэффективность исследования. С2. Простота исследования в сравнении с аналогами. С3. Более низкая стоимость. С4. Наличие бюджетного финансирования. С5. Экологичность технологии.	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие компании, способной построить производство исходя из исследования. Сл2. Отсутствие некоторого необходимого оборудования для контроля характеристик. Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования.
<b>Возможности:</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ. В2. Появление дополнительного спроса на новую технологию. В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.	<b>В1В2С3, В2В3С3, В1В3С3</b>	<b>В2В3Сл1Сл2</b>
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Развитая конкуренция технологий производства. У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.	<b>У1У3С1С2С3</b>	<b>У2У3Сл3</b>

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

## 4. 4 План проекта

### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 21.

Таблица 21 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1. Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2. Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3. Проведение патентных исследований	Студент
	4. Выбор направления исследований	Руководитель
	5. Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные	6. Подготовка образцов для экспериментов	Студент

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
исследования	7. Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Студент
	8. Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
Обобщение и оценка результатов	9. Оценка эффективности полученных результатов	Студент
	10. Определение целесообразности проведения ОКР	Студент
Оформления отчета по НИР	11. Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (11)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (12)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 4.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{кал}, \quad (13)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (14)$$

где  $T_{кал} = 365$  – количество календарных дней в году;

$T_{вых} = 104$  – количество выходных дней в году;

$T_{пр} = 14$  – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48$$

Таблица 22 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ								
	t <sub>min</sub> , чел-дни			t <sub>max</sub> , чел-дни			t <sub>ож</sub> , чел-дни		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Составление и утверждение технического задания	1	1	1	4	4	4	2,2	2,2	2,2
Подбор и изучение материалов по теме	10	10	10	15	15	15	12	12	12
Проведение патентных исследований	7	7	7	10	10	10	8,2	8,2	8,2
Выбор направления исследований	4	4	4	6	6	6	4,8	4,8	4,8
Календарное планирование работ по теме	2	2	2	4	4	4	2,8	2,8	2,8
Подготовка образцов для экспериментов	5	5	6	10	10	10	7	7	7,6
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	10	10	10	12	12	12	10,8	10,8	10,8
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	5	6	6	8	10	10	6,2	7,6	7,6
Оценка эффективности полученных результатов	7	5	5	10	7	7	8,2	5,8	5,8
Определение целесообразности проведения ОКР	5	6	6	7	8	8	5,8	6,8	6,8
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	5	10	15	7	13	25	5,8	11,2	19

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляем до целого числа. Все рассчитанные значения сводим в таблицу 23.

Таблица 23 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Составление и утверждение технического задания	2	2	2	3	3	3
Подбор и изучение материалов по теме	12	12	12	18	18	18
Проведение патентных исследований	9	9	9	12	12	12
Выбор направления исследований	5	5	5	7	7	7
Календарное планирование работ по теме	3	3	3	4	4	4
Подготовка образцов для экспериментов	7	7	11	10	10	11
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	10,8	10,8	10,8	16	16	16
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	6,2	7,6	8,6	10	11	11
Оценка эффективности полученных результатов	8,2	5,8	5,8	12	9	9
Определение целесообразности проведения ОКР	5,8	6,8	6,8	9	10	10
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	2,9	5,6	9,5	5	9	14

На основе таблицы 23 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках

научно-исследовательского проекта на основе таблицы 22 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 24 – Календарный план график проведения НИР по теме

Вид работ	Исп	Т <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
			фев		март			апрель			май			июн			
			р		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
Составление и утверждение технического задания	Р	3	■														
Подбор и изучение материалов по теме	Д	18	□														
Проведение патентных исследований	Д	12			□												
Выбор направления исследований	Р	7				■											
Календарное планирование работ по теме	Р	4					■										
Подготовка образцов для экспериментов	Д	11						□									
Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Д	16							□								
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Д	11								□							
Оценка эффективности полученных результатов	Д	12									□						
Определение целесообразности проведения ОКР	Д	10										□					
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Д Р	14													□	■	

■ - руководитель, □ - Студент

При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

#### **4.5 Бюджет научного исследования**

При планировании бюджета НИИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

##### **4.5.1 Расчет материальных затрат НИИ**

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не

относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

– покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

– сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i + N_{расхи}, \quad (15)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхи}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);

$C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента ( $k_T$ ), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 25.

Таблица 25 - Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество			Цена за ед., руб.			Затраты на материалы(З <sub>м</sub> ), руб.		
		Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Магнит 5*5*5	шт.	8	10	6	8,5	10	10	68	100	60
Магнит 10*10*10	шт.	6	4	8	49	70	60	294	280	480
Катушка-каркас Б-48	шт.	1	1	1	25	25	25	25	25	25
Катушка-каркас Б-30	шт.	2	2	2	10	10	12	20	20	24
Сердечник ферритовый Ч30	шт.	2	2	2	110	110	260	220	220	520
Сердечник ферритовый Ч48	шт.	1	1	1	360	360	360	360	360	360
Итого								987	982	1469

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

Под возвратными отходами производства понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, теплоносителей и других видов материальных ресурсов, образовавшиеся в процессе производства научно-технической продукции, утратившие полностью или частично потребительские качества исходного ресурса (химические или физические свойства) и в силу этого используемые с повышенными затратами (понижением выхода продукции) или вовсе не используемые по прямому назначению.

#### 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Расчет затрат по данной статье заносится в таблицу 26. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Таблица 26 – Расчет бюджета затрат на приобретение оборудования для научных работ.

Наименование оборудования	Количество единиц оборудования			Цена единицы оборудования, руб.			Общая стоимость оборудования, тыс. руб.		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3
Вибростенд ЕТ-139	1	1	1	50000 0	60000 0	700000	575	690	805
Усилитель мощности РА-138	1	1	1	50000	40000	45000	57,5	46	51,75
Осциллограф WaveJet 322	1	1	1	20000	15000	17000	23	17,25	19,55
Итого							655,5	753,25	876,3

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 процентов от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и

имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

#### 4.5.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} , \quad (16)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{осн}$ ).

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

$$Z_{осн} = T_p \cdot Z_{дн} , \quad (17)$$

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

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. ;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_d} , \quad (18)$$

где  $Z_M$  – 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;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 27 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздничные	118	118
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	32	32
Действительный годовой фонд рабочего времени	215	215

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p, \quad (19)$$

где  $Z_{TC}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{TC}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от  $Z_{TC}$ );

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Тарифная заработная плата  $Z_{TC}$  находится из произведения тарифной ставки работника 1-го разряда  $Tc_1 = 600$  руб. на тарифный коэффициент  $k_t$  и учитывается по единой для бюджетных организации тарифной сетке. Для предприятий, не относящихся к бюджетной сфере, тарифная заработная

плата (оклад) рассчитывается по тарифной сетке, принятой на данном предприятии. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 28.

Таблица 28 - Расчет основной заработной платы

Исполнители	З <sub>тс</sub> , тыс. руб.	k <sub>пр</sub>	k <sub>д</sub>	k <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , тыс. руб.	З <sub>дн</sub> , тыс. руб.	T <sub>р</sub> , раб. дн.	З <sub>осн</sub> , тыс. руб.	З <sub>доп</sub> , тыс. руб.
Руководитель	26,3	0,3	0,5	1,3	61,542	2,977	28	83,354	10,002
Студент	2,41	0,3	0,5	1,3	5,639	0,273	104	28,392	3,407
Итого З <sub>осн</sub>								111,724	13,409

Основная заработная плата руководителя (от ТПУ) рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

1) оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор (см. «Положение об оплате труда», приведенное на интернет-странице Планово-финансового отдела ТПУ).

2) стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.

3) иные выплаты; районный коэффициент.

#### 4.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}}$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

#### 4.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} * (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (15)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%

Таблица 29 - Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнители	$Z_{осн}$ , тыс. руб.	$Z_{доп}$ , тыс. руб.	$k_{внеб}$ , %	$Z_{внеб}$ , тыс. руб.
Руководитель	83,354	10,002	0,271	25,299
Студент	28,392	3,407	0,271	8,617
Итого $Z_{осн}$				33,916