

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

<b>Тема работы</b>
<b>ЛАЗЕРНАЯ ВИБРОДИАГНОСТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b>

УДК 620.179.17:621.375.826

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич		01.06.2022

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		01.06.2022

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Авдеева И.И.	–		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 12.03.01 Приборостроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		01.06.2022

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать в повседневной жизни и в профессиональной деятельности безопасные условия жизнедеятельности для сохранения природной среды, обеспечения устойчивого развития общества, в том числе при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций и военных конфликтов
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
УК(У)-10	Способен принимать обоснованные экономические решения в различных областях жизнедеятельности
УК(У)-11	Способен формировать нетерпимое отношение к коррупционному поведению
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства приборов и комплексов широкого назначения
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных, интеллектуально правовых и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен проводить экспериментальные исследования и измерения, обрабатывать и представлять полученные данные с учетом специфики методов и средств технических измерений в приборостроении
ОПК(У)-4	Способен использовать современные информационные технологии и программное обеспечение при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности
ОПК(У)-5	Способен участвовать в разработке текстовой, проектной и конструкторской документации в соответствии с нормативными требованиями
<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен к организации и проведению работ по техническому контролю и диагностированию объектов
ПК(У)-2	Способен к разработке технологических процессов и технической документации на изготовление, сборку, юстировку и контроль контрольно-измерительных приборов и систем
ПК(У)-3	Способен к организации и проведению контроля качества изделий на всех этапах производственного цикла
ПК(У)-4	Способен к организации и проведению постпродажного обслуживания и сервиса
ПК(У)-5	Способен к эксплуатации, диагностике и ремонту контрольно-измерительных приборов
ПК(У)-6	Способен к проектированию и конструированию контрольно-измерительных приборов, их составных частей в соответствии с техническим заданием

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

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ 25.10.2021 Б.Б. Мойзес

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич

Тема работы:

<b>ЛАЗЕРНАЯ ВИБРОДИАГНОСТИКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №358-10/с от 24.12.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:	1.06.2021
--	-----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<i>Объект разработки:</i> Макет первичного преобразователя лазерного измерителя параметров вибрации <i>Предмет исследования:</i> Анализ оптоэлектронных лазерных методов и средств контроля параметров вибрации для выбора наиболее оптимального метода для технической реализации первичного преобразователя. <i>Оборудование и его основные характеристики:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• Частота вибрации (в пределах звуковых частот) от 20 Гц до 20 кГц.</li><li>• Амплитуда вибрации 0.01 – 1 мм.</li><li>• Источник излучения лазерный диод 640 нм.</li><li>• Приёмник излучения фотодиод</li><li>• Сигнал на выходе преобразователя - напряжение</li></ul>
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Анализ источников информации по теме работы.</li><li>2. Разработка информационно-измерительной системы исследования параметров вибрации</li><li>3. Подготовка и проведение эксперимента (апробация и отладка информационно-измерительной системы)</li><li>4. Рассмотрение вопросов социальной ответственности и финансового менеджмента.</li><li>5. Выводы о достижении поставленной цели.</li></ol>

<b>Перечень графического материала</b>	Нет
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Гасанов М.А., д.э.н., профессор ОСГН
«Социальная ответственность»	Авдеева И.И., старший преподаватель ООД
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	25.10.2021

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		25.10.2021

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич		25.10.2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
 Направление подготовки 12.03.01 Приборостроение  
 Отделение контроля и диагностики  
 Период выполнения 2021/2022 учебные года

Форма представления работы:

<b>Бакалаврская работа</b>
----------------------------

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2021
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.12.2021	Обзор источников информации	10
30.12.2021	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
28.02.2022	Ознакомление с экспериментальным оборудованием	20
30.04.2022	Разработка плана эксперимента и его проведение, интерпретация результатов эксперимента	20
20.05.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
01.06.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
01.06.2021	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Фёдоров Е.М.	к.т.н.		25.10.2021

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП 12.03.01 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Мойзес Б.Б.	к.т.н., доцент		25.10.2021

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>		
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич		
<b>Школа</b>	ИШНКБ	<b>Отделение школы</b>	Контроля и диагностики
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление</b>	12.03.01 Приборостроение

Тема ВКР:

<b>Лазерная вибродиагностика промышленных объектов</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<b>Введение</b>	<p><i>Объект исследования:</i> лазерная вибродиагностика промышленных объектов</p> <p><i>Область применения:</i> промышленное оборудование</p> <p><i>Рабочая зона:</i> производственный цех</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 9 x 6 x 2.8 м</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> цифровой осциллограф АСК-2061, цифровой мультиметр, паяльная станция, источник питания постоянного напряжения и тока АТН-4235, генератор VC-2002</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> контроль параметров и исправности промышленного оборудования, переключение оборудования</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</b>	<p>ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие технические требования безопасности;</p> <p>ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования;</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования;</p> <p>ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</p> <p>СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания;</p> <p>Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".</p> <p>ТК РФ Статья 197. Право работников на подготовку и дополнительное профессиональное образование, на прохождении независимой оценки квалификации.</p>
<b>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</b>	<p><b>Вредные производственные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенный уровень общей вибрации;</li> <li>2. Повышенный уровень локальной вибрации;</li> <li>3. Повышенный уровень шума;</li> <li>4. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;</li> <li>5. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего;</li> <li>6. Монотонность труда, вызывающая монотонию;</li> <li>7. Длительное сосредоточенное наблюдение;</li> <li>8. Вредные вещества.</li> </ol>

	<p><b>Опасные факторы:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги тканей организма человека;</li> <li>2. Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий;</li> <li>3. Статическое электричество;</li> <li>4. Короткое замыкание;</li> <li>5. Наличие электромагнитных полей радиочастотного диапазона;</li> <li>6. Производственные факторы, связанные с лазерным излучением;</li> <li>7. <b>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</b> электрическая изоляция токоведущих частей, использование защитных костюмов, виброизолирующие рукавицы, резиновые перчатки, виброизолирующая обувь, беруши, наушники, защитные ограждения, защитные маски.</li> </ol>
<b>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</b>	<p>Воздействие на селитебную зону отсутствует.  Воздействие на литосферу: утилизация микросхем и радиоэлектронных компонентов, металлическая стружка, пыль, люминесцентные лампы, макулатура.  Воздействие на гидросферу: разлив химически активных веществ, продукты жизнедеятельности персонала  Воздействие на атмосферу: выброс газа, задымление.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</b>	<p><b>Возможные ЧС:</b>  Техногенные: аварии на электроэнергетических установках, пожар, взрыв, обрушение здания;  Природные: землетрясения, бури, крупный град;  Экологические: провал территории.  <b>Наиболее типичная ЧС:</b> пожар в следствии короткого замыкания</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
01.03.2022	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Авдеева Ирина Ивановна	–		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение школы</b>	<b>Контроля и диагностики</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление</b>	12.03.01 Приборостроение

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

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

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

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки позволяет говорить о том, что разработка считается перспективной и ее следует развивать.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование бюджета научных исследований состоит из: материальных затрат НИИ, затрат на спецоборудование для научных работ, затрат по основной заработной плате исполнителей работы, затрат по дополнительной заработной плате исполнителей работы, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Рассчитать показатели финансовой эффективности, ресурсоэффективности и эффективности исполнения.

### Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности технических решений;
2. Матрица SWOT;
3. Альтернативы проведения НИ;
4. График проведения и бюджет НИ;
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.04.2022
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов М.А.	Д.э.н.		22.02.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1Б81	Харлов Богдан Юрьевич		22.02.2022



## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки, содержащей 81 страницу машинописного текста, 22 рисунка, 22 таблицы, 16 источников литературы.

Ключевые слова: вибродиагностика, лазерная вибродиагностика, лазерный доплеровский виброметр, параметры вибрации.

Объектом исследования является макет первичного преобразователя лазерного измерителя параметров вибрации.

Цель работы – создание макета первичного преобразователя лазерного измерителя параметров вибрации.

В процессе исследования проводился теоретический анализ и изготовление макета первичного преобразователя лазерного измерителя параметров вибрации.

В результате исследования были получены теоретические и практические данные по касающимся характеристикам лазерного преобразователя, был спроектирован и исследован макет измерителя и определены ограничивающие параметры.

Степень внедрения: проведено исследование и собран макет.

Область применения: полученные в ходе исследования результаты представляют практическое применение для проектирования приборов вибродиагностического контроля для кабельной, трубной, оптоволоконной и др. областей промышленности.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» описаны ресурсоэффективность проекта и его анализ.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены опасные и вредные факторы при работе и предусмотрены меры по их устранению.

## Определения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**вибрационная диагностика:** Техническая диагностика, основанная на анализе вибрации объекта диагностирования.

**виброметрия:** Совокупность средств и методов измерения величин, характеризующих вибрацию.

**пьезоэлектрический виброизмерительный преобразователь (пьезоэлектрический акселерометр):** Виброизмерительный преобразователь, в котором под действием вибрации в пьезоэлементе возникает электрический заряд.

**оптический виброизмерительный преобразователь:** Виброизмерительный преобразователь, в котором под действием вибрации происходит уширение спектральных линий волн вследствие эффекта Доплера.

**индукционный виброизмерительный преобразователь:** Виброизмерительный преобразователь, в котором под действием вибрации в проводнике, помещенном в магнитное поле, индуцируется ЭДС.

**ПИК-фактор:** Отношение пикового значения к среднеквадратичному значению сигнала.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие технические требования безопасности;

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования;

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности;

ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования;

ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума. Классификация;

ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства защиты работающих. Общие требования и классификация;

ГОСТ 16819-71 Приборы виброизмерительные. Термины и определения;

ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения;

ГОСТ 27818-88 Машины вычислительные и системы обработки данных. Допустимые уровни шума на рабочих местах и методы определения;

ГОСТ Р 51337-99 Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей;

ГОСТ Р 52736-2007 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета электродинамического и термического действия тока короткого замыкания;

ГОСТ Р 55090-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Рекомендации по утилизации отходов бумаги;

ГОСТ Р 55102-2012 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Руководство по безопасному сбору, хранению, транспортированию и разборке отработавшего электротехнического и электронного оборудования, за исключением ртутьсодержащих устройств и приборов;

ГОСТ Р 58698-2019 Защита от поражения электрическим током. Общие положения для электроустановок и электрооборудования;

Р 2.2.2006-05 Руководство по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда;

СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания;

СП 2.2.3670-20 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда;

СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95;

ТК РФ Статья 197. Право работников на подготовку и дополнительное профессиональное образование, на прохождение независимой оценки квалификации;

Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".

В настоящей работе применены следующие сокращения:

**ПЭП** – пьезоэлектрический преобразователь;

**ОКГ** – оптический квантовый генератор;

**СКЗ** – среднеквадратическое значение;

**ЛДИС** – лазерный доплеровский измеритель скорости;

**АЦП** – аналогово-цифровой преобразователь;

**ЭДС** – электродвижущая сила;

**НЧ** – низкочастотный;

**ВЧ** – высокочастотный;

## Оглавление

Реферат .....	9
Определения, сокращения, нормативные ссылки .....	10
Введение.....	15
1 Обзор литературы .....	17
1.1 Методы измерения вибрации.....	18
1.2 Обзор методов анализа данных вибродиагностики .....	18
1.2.1 Метод ПИК-фактора.....	19
1.2.2 Метод эксцесса.....	19
1.2.3 Метод ударных импульсов .....	19
1.2.4 Метод прямого спектра (автоспектра).....	20
1.2.5 Метод огибающей высокочастотной вибрации.....	20
1.3 Обзор датчиков для измерения вибрации .....	21
1.3.1 Пьезоэлектрический акселерометр .....	21
1.3.2 Вихретоковый датчик.....	22
1.3.3 Индукционные датчики.....	23
1.3.4 Лазерные виброметры .....	24
1.3.4.1 Виброметр лазерный односточечный ECMA PNV-RD-AVD1 .....	24
1.3.4.2 Портативный лазерный виброметр PDV-100.....	25
1.3.4.3 Лазерный доплеровский виброметр OptoMET серии Vector .....	26
1.3.4.4 Односточечный лазерный виброметр LaserPoint LP01 .....	27
1.3.4.5 Сравнение лазерных виброметров .....	28
1.4 Применение лазерных сканеров .....	29
1.5 Применение лазерных интерферометров .....	32
1.6 Применение ЛДИС .....	33
2 Структурная схема и описание работы лазерного виброметра.....	34
3 Разработка измерительного макета.....	35
3.1 Определение зависимости фототока от частоты падающего излучения ..	37
3.2 Определение зависимости фототока от расстояния до объекта контроля	40
3.3 Определение вибрации в малом электродвигателе .....	41
4 Результаты исследования и разработки.....	44
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
5.1 Введение.....	45

5.2	Анализ конкурентных технических решений .....	46
5.3	SWOT-анализ.....	47
5.4	Планирование научно-исследовательских работ .....	50
5.4.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	50
5.4.2	Определение трудоемкости выполнения работ .....	51
5.4.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	51
5.5	Бюджет научно-технического исследования .....	55
5.5.1	Расчет материальных затрат .....	55
5.5.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	56
5.5.3	Основная заработная плата исполнителя темы .....	57
5.5.4	Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	59
5.5.5	Отчисления во внебюджетные фонды.....	59
5.5.6	Накладные расходы .....	60
5.5.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	60
5.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	61
5.7	Заключение по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	63
6	Социальная ответственность .....	64
6.1	Введение.....	64
6.2	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	65
6.2.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	65
6.2.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....	65
6.3	Производственная безопасность .....	66
6.4	Экологическая безопасность.....	72
6.5	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	74
6.6	Заключение по разделу «Социальная ответственность» .....	75
7	Заключение .....	77
8	Список публикаций.....	79
9	Список литературы .....	79

## **Введение**

На предприятиях различной отрасли промышленности работают аппараты, которые при выполнении своей работы вызывают вибрации. По уровню данной вибрации можно судить о степени изношенности работающей машины. Для фиксирования и диагностики вибрации существует такой вид неразрушающего контроля, как вибродиагностика.

Измерение вибрации проводят как правило при помощи пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП), которые прикрепляют непосредственно к объекту контроля. Стоит отметить, что доступ к объекту контроля на производственной линии не всегда возможен в силу тех или иных причин, поэтому в качестве измерителей вибрации используются оптические датчики.

Лазерная вибродиагностика промышленных объектов, в частности кабельной промышленности, позволяет измерять вибрацию на значительных расстояниях в пределах видимости объекта контроля оптической системой самого лазерного измерителя. Контроль кабельного оборудования необходим в силу того, что при работе подобных приборов при протягивании кабеля через измерительные головки происходит биение кабеля, что вызывает вибрации. Подобная вибрация вызывает разрушение подшипниковых узлов измерительных головок, что ведет к повышению погрешности измерения длины кабеля и скорости его протяжения через прибор, что ведет к рискам, таким как недостаточная толщина изоляции или диаметра основной жилы кабеля, а также длина кабеля. Для минимизации погрешности измерения проводят вибродиагностику подвижных частей кабельного оборудования, при этом необходимую точность может обеспечить лазерная вибродиагностика.

Целью данной работы является создание макета первичного преобразователя лазерного измерителя параметров вибрации.

Объектом исследования является лазерная вибродиагностика промышленных объектов кабельной промышленности.

Предметом исследования является анализ оптоэлектронных лазерных методов и средств контроля параметров вибрации для выбора наиболее оптимального метода для технической реализации первичного преобразователя.

Для этого были поставлены следующие задачи: изучение основ вибродиагностики объектов и применение лазерного излучения, рассеянного движущимся объектом для фиксации частоты и амплитуды вибрации; разработка и создание макета.



## 1 Обзор литературы

В 1970-х годах начали применять приборы, позволяющие определять уровень шума и вибрации в объекте контроля, значительно лучше, чем слуховой метод диагностики неисправностей [1].

С тех пор появилось множество приборов и датчиков для определения уровня шума (шумомеры) – акустические датчики, предназначенные для акустико-эмиссионного неразрушающего контроля. Также получило развитие такого метода неразрушающего контроля, как вибродиагностика.

Данный метод контроля подробно описан в справочнике по неразрушающему контролю под редакцией В.В. Ключева [2], в которой даны теоретические и экспериментальные изыскания для проведения вибродиагностики. Также подробно описаны методы измерения вибрации, преимущественно при помощи пьезоэлектрического акселерометра.

Развитие оптических квантовых генераторов (лазеров), позволило открыть способы бесконтактного измерения различных параметров сред, материалов и характеристик, связанных с движением объектов. Так при помощи лазеров осуществляют измерение скорости движущихся объектов, основываясь на эффекте Доплера или при помощи фиксирования интерференционной картины. В книге Г.Г. Земскова «Средства измерения линейных размеров с использованием оптических квантовых генераторов» [3], приведены основные параметры измерительных средств с применением ОКГ и основные области их использования для контроля линейных размеров. В данной книге содержатся структурные схемы для проектирования измерительных систем, использующих анализ интерференционной картины.

В данной работе рассматриваются лазерные виброметры, основанные на эффекте Доплера, поэтому в качестве анализа математического анализа сигнала и способа его интерпретации использовалась статья [4], в которой описана физика процесса модулирования лазерного луча и анализа отраженного луча от объекта контроля.

## **1.1 Методы измерения вибрации**

Уровень вибрации можно измерить при помощи физических принципов – кинематического и динамического [2].

Кинематический метод измерения основывается на измерении относительной вибрации объекта контроля [2]. Данными методом контролируют вибрацию вала, например, в электродвигателе относительно подшипника. Осуществляется данный метод как правило бесконтактными датчиками такими как оптические, вихретоковые и индукционные.

Динамический метод измерения подразумевает использование некоторой неподвижной точки, относительно которой измеряется вибрация [2]. Такая точка, как правило, располагается внутри преобразователя механических колебаний в электрический сигнал. Такими датчиками в неразрушающем контроле пользуются для вибродиагностики объектов и называются они пьезоэлектрические акселерометры. В данных преобразователях используется пьезоэлектрический эффект, основывающийся на преобразовании механической деформации пьезоэлектрического материала в электрические заряды, создающие разницу потенциалов по краям этого пьезоэлектрика. Пьезоэлектрик в преобразователе прикреплен к неподвижной опоре с одной стороны, а с другой на нем имеется масса, которая под действием колебаний по инерции начинает колебаться и тем самым вызывает деформацию пьезоэлектрика.

## **1.2 Обзор методов анализа данных вибродиагностики**

Вибрационная диагностика — один из методов неразрушающего контроля, при помощи которого осуществляется измерение вибрации и ее последующая обработка с целью выявления неисправностей в работе оборудования.

При помощи подобного рода технической диагностики появляется возможность поиска неисправностей в объекте или оценки его состояния на данный момент и в предстоящей перспективе.

### 1.2.1 Метод ПИК-фактора

Данный метод прост в реализации, так как заключается в периодическом контроле среднеквадратичного значения (СКЗ) виброускорения и пика амплитуды виброускорения (положительного, отрицательного или размаха). Обе кривые данных значений монотонно растут с развитием дефекта и сами по себе являются малоинформативными [5]. Для наиболее правильной оценки используется отношение пикового значения виброускорения  $a_{\text{пик}}$  к его СКЗ  $a_{\text{скз}}$ , выраженное в логарифмических единицах, иначе именуемое как ПИК-фактор.

$$\text{ПФ} = \frac{a_{\text{пик}}}{a_{\text{скз}}} \quad (1)$$

Данный метод хорошо себя показал при контроле подшипниковых узлов.

### 1.2.2 Метод эксцесса

Эксцесс – статистическая величина, характеризующая отклонение плотности вероятности мгновенных значений вибросигнала от нормального распределения (распределения Гаусса). Характеризуется коэффициентом эксцесса, который может указать на степень развития дефекта. По пику кривой плотности вероятности также можно судить о степени развития дефекта [5].

Данный метод применяют для контроля подшипников качения и скольжения из-за его нечувствительности к скорости вращения и нагрузке на него, а также не требует знания его геометрических параметров.

### 1.2.3 Метод ударных импульсов

Ударные импульсы – импульсы небольшой амплитуды, генерируемые в частотном диапазоне от 27800 до 32000 герц ударами сопряженных деталей механизма. Когда детали механизма работают нормально наблюдается «ковровый»

фон ударных импульсов [5]. При повреждении деталей наблюдается удар и возникает пиковое значение амплитуды колебаний. Данный сигнал снимается на резонансной частоте датчика для наиболее точного его детектирования, при этом прочие частоты подавляются.

#### **1.2.4 Метод прямого спектра (автоспектра)**

Как известно, при помощи виброанализаторов, можно проводить анализ сигналов в частотном диапазоне, именно на этом базируется данный метод. На автоспектре данных приборов наблюдаются амплитудные всплески, сигнализирующие о дефектах оборудования. Благодаря этому в спектре гармоник определяют возникновение соответствующего дефекта, амплитуда гармоник в данном случае сигнализирует о степени развития дефекта [5]. Однако дефекты, возникающие на ранней стадии развития обнаружить практически невозможно, так как амплитуда их колебаний в спектре гармоник на шумовом фоне не заметна. На данный момент метод прямого спектра является одним из наиболее популярных при проведении анализа, так как данные, которые он предоставляет обладают высокой помехозащищенностью и информативностью [5].

#### **1.2.5 Метод огибающей высокочастотной вибрации**

В высокочастотной части спектра вибросигнала можно заметить модуляцию некоторым низкочастотным сигналом, которая несет в себе информацию для диагностики. Огибающую высокочастотной вибрации выделяют с помощью электроники (полосового фильтра и детектора), получая низкочастотную составляющую из общего спектра [5]. Далее проводится анализ этой огибающей, а спектр огибающей при отсутствии дефектов представляет собой гладкую кривую, которая явно изменяется даже при зарождающихся дефектах. Это связано с

тем, что дефекты возбуждают частоты, которые однозначно указывают на источник вибрации [5]. Это позволяет обнаруживать дефекты на ранней стадии зарождения, что является неоспоримым преимуществом данного метода.

### **1.3 Обзор датчиков для измерения вибрации**

#### **1.3.1 Пьезоэлектрический акселерометр**



Рисунок 1 – Общий вид акселерометров GTLab серии 1V102HB

Пьезоэлектрический акселерометр – датчик, основанный на динамическом принципе измерения вибрации, использующий пьезоэлектрический эффект для детектирования механических колебаний пьезоэлектрика под действием внешней вибрации.

Пьезоэлектрические акселерометры крепятся непосредственно на объект контроля. Для этого применяются различные способы крепления, такие как крепление на шпильку или на клейкую основу.

Преимуществами таких датчиков является их сравнимо невысокая цена, высокое качество изготовления, точность измерения вибрации, а также возможность применять при различных условиях окружающей среды.

Главным недостатком является отсутствие бесконтактного способа измерения вибрации, так как порой размеры контролируемого объекта могут быть меньше чем размеры самого датчика, или расстояние до объекта велико и на нем невозможно закрепить датчик.

Ниже приведены технические характеристики пьезоэлектрического акселерометра GTLab 1V102HB-5 [6].

Таблица 1 – Технические характеристики Акселерометр GТLab 1V102НВ-5

Наименование параметра	Значение
1	2
Коэффициент преобразования	0,5 мВ/(м·с <sup>-2</sup> )
Относительный коэффициент поперечного преобразования	< 5%
Максимальное значение амплитуды измеряемого ускорения	± 10 000 м/с <sup>2</sup>
Максимальный удар (пиковое значение)	± 100 000 м/с <sup>2</sup>
Диапазон рабочих температур	-55 ... + 125 °С
Диапазон рабочих частот (неравномерность АЧХ ± 3 дБ)	0,2 ... 24 000 Гц
Диапазон рабочих частот (неравномерность АЧХ ± 1 дБ)	0,5 ... 16 000 Гц
Диапазон рабочих частот (неравномерность АЧХ ± 5 %)	1 ... 10 000 Гц
Частота установочного резонанса в осевом направлении	> 50 кГц
Уровень шума, СКЗ (1 Гц ÷ 10 кГц)	< 0,1 м/с <sup>2</sup>
Выходное сопротивление	< 100 Ом
Питание (напряжение)	+ (18 ... 30) В
Питание (ток)	2 ... 20 мА
Уровень постоянного напряжения на выходе	8 ... 13 В
Коэффициент влияния температуры окружающей среды	± 0.2 %/ °С
Время установления рабочего режима	4 с
Материал корпуса	нержавеющая сталь (титановый сплав) (Определяется по требованию заказчика)
Масса (без кабеля)	13 г
Поставляемые принадлежности	кабель 03В1D1 (Определяется по требованию заказчика) шпилька Р0505

### 1.3.2 Вихретоковый датчик

Вихретоковый датчик позволяет проводить бесконтактный способ проведения замеров. Однако объект контроля должен быть изготовлен из токопроводящего материала. Это необходимо для возбуждения в объекте контроля вихревых токов под действием переменного магнитного поля, вносимого самим датчиком.

Вихретоковый датчик подключен к драйверу (электронному блоку) с помощью коаксиального удлинительного кабеля.

В ходе работы драйвер обеспечивает возбуждение колебаний в катушке, находящейся внутри датчика [7]. Благодаря этому возникает электромагнитное поле, взаимодействующее с материалом контролируемого объекта.

Измерение магнитного потока от объекта контроля может осуществляться либо параметрическим способом, когда одна обмотка является одновременно возбуждающей и измерительной, либо трансформаторным, когда используется две и более обмоток.

Данные датчики позволяют измерять вибрацию электродвигателей, турбин, компрессоров. Однако их редко применяют ввиду большого процента погрешности. Чем идеальнее условия, тем более точные данные можно получить на выходе из вихретокового датчика.

### **1.3.3 Индукционные датчики**

Разновидности индукционного типа отличаются внушительной массой и габаритами. Кроме того, они не дают особо точных данных в ходе измерения вибрации [7]. Однако данные преобразователи помехоустойчивы.

Индукционный датчик принимает механическую вибрацию, после чего выполняет ее преобразование в электрический сигнал, поступающий на первичную обмотку входного трансформатора.

После увеличения по напряжению сигнал подается на множитель напряжения для усиления и выпрямления [7]. Это повышает чувствительность виброметра. Некоторые виды индукционной техники не требуют электропитания. Они отличаются малой чувствительностью.

Иные снабжены несколькими ступенями умножения напряжения. Чем их больше, тем точнее измерения. В целях увеличения измерительного сигнала в схему включают входной повышающий трансформатор [7].

### 1.3.4 Лазерные виброметры

#### 1.3.4.1 Виброметр лазерный односточный ЕСМА PNV-RD-AVD1

Разновидности оптического либо лазерного типа оборудованы светочувствительным датчиком, необходимым для восприятия светового луча. Такие приборы способны дистанционно (бесконтактно) измерять вибрации, ввиду чего их активно применяют на строительных объектах.

Их принцип работы основывается на доплеровском сдвиге частоты лазерного излучения, которое отражается от движущегося объекта. При направлении устройства на тело в состоянии покоя длины исходного и отбитого луча одинаковы.

Когда поверхность вибрирует, происходит фиксация изменений датчиком, регистрирующим колебания, и их вычисление в единицу колебания. Такое оборудование предельно точное и скорое.



Рисунок 2 – Виброметр лазерный односточный ЕСМА PNV-RD-AVD1

Виброметр лазерный односточный ЕСМА PNV-RD-AVD1 — это портативный лазерный виброметр с питанием от батареи, изготавливается Российской компанией «ЭЛ-СКАДА» [8]. Он позволяет бесконтактно измерять вибрационные перемещения, скорости и ускорения в диапазоне частот от 0 до 100 кГц на расстоянии до 30 м. Ниже представлены технические характеристики данного измерительного прибора (Таблица 2).



Таблица 2 – Технические характеристики лазерного виброметра ЕСМА PNV-RD-AVD1

Категория	Характеристики
Точек измерения	1
Тип лазера	Гелий-неоновый (632,8 нм), класс II, безопасный для глаз
Расстояние до объекта	0,2 м ... 5 м (увеличивается до 30 м)
Размер пятна измерения	20 ... 500 мкм
Выходные данные	Ускорение, скорость или перемещение (выбирается ПО)
Частота измерений	0,1 ... 250 000 Гц (цифровое увеличение до 5 МГц)
Диапазон измерения скоростей	Регулируется в зависимости от разрешения: 10 мм/с ... 10 м/с
Разрешение	Скорость: 0,02 мкм/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$ ; Перемещение: 1 пм
Система демодуляции	ПЛИС (FPGA)
Управление	Программное обеспечение
Крепление	M4, M6, 1/4"-20
Выходные данные	Цифровой: USB3 Аналоговый: SMA
Питание	110 ... 240 В, 50 ... 60 Гц
Программное обеспечение	Windows-совместимое для отображения, анализа и сохранения измерений (возможна поставка на ноутбуке с SSD)
Запускающий интерфейс	ТТЛ сигнал, BNC интерфейс
Размеры (Д x Ш x В)	300 мм x 62 мм x 120 мм
Гарантия	1 год (по договоренности 2 года)

### 1.3.4.2 Портативный лазерный виброметр PDV-100

Портативный лазерный виброметр PDV-100 выпускается немецкой компанией Polytec [9] предназначен для бесконтактного измерения параметров вибрации объектов методом лазерной доплеровской виброметрии. Прибор осуществляет сканирование одного лазерного пятна.



Рисунок 3 – Портативный лазерный виброметр PDV-100

Ниже представлены основные технические характеристики данного лазерного виброметра.

Таблица 3 – Технические характеристики PDV-100

Категория	Характеристики		
Тип декодера	Декодер скорости DSP, 3 диапазона измерения мгновенной скорости		
Диапазон частот	0.5 Гц ... 22 кГц (аналоговый выход BNC)		
Количество диапазонов измерения			
Диапазоны макс. скорости (мм/с)	20	100	500
Масштабный коэффициент (мм/с/В)	5	25	125
Разрешение по скорости (мкм/с/ $\sqrt{\text{Гц}}$ )	< 0.02	< 0.02	< 0.1
Макс. ускорение (м/с <sup>2</sup> )	2760	13800	69000
Рабочее расстояние, м	0.1 ... 30		
Класс безопасности лазера	Класс 2, безопасный для глаз ( HeNe лазер)		
Напряжение на выходе	$\pm 4$ В (24 бит ЦАП)		
Погрешность (калиброванная)	$\pm 1$ % (20 Гц ... 22 кГц)		

#### 1.3.4.3 Лазерный доплеровский виброметр OptoMET серии Vector

Лазерный доплеровский виброметр серии Vector, изготавливается фирмой OptoMET [10], имеет в своей конструкции гелий-неоновый лазер с длиной волны 633 нм. Прибор способен фиксировать изменение скорости в пределах 10 м/с.



Рисунок 4 – Лазерный доплеровский виброметр OptoMET серии Vector

Приведем характеристики данного прибора (Таблица 4):

Таблица 4 – Технические характеристики лазерного доплеровского виброметра OptoMET серии Vector

<b>Категория</b>	<b>Характеристики</b>
Источник лазерного излучения	Гелий-неоновый лазер
Длина волны лазера	632,8 нм
Класс лазера	Генерируемая мощность:<1 мВт, класс 2
Измеряемое количество	Скорость, перемещение, ускорение
Полосы частот	DC - 25 MHz
Макс. скорость колебаний	10 м/с
Выходной сигнал (цифровой)	GBit-Ethernet (RJ45) / WiFi
Выходной сигнал (аналоговый)	3 стандартные BNC-разъема
Обработка сигнала	Цифровая (Optomet UltraDSP)
Вывод интерфейса пользователя	Цветной экран 3,5 дюйма + 20-сегментная светодиодная гистограмма
Ввод интерфейса пользователя	Сенсорный экран, ручки с кнопочными переключателями, переключатель под ключ (питание)
Размеры	Длина x ширина x высота (без рукоятки и линзы): 380 x 180 x 148 мм
Вес	8 кг
Монтаж	Стандартная винтовая резьба штатива
Напряжение питания	110 -240 В переменного тока (50-60 Гц) или 12 В постоянного тока
Потребляемая мощность	37 Ватт
Диапазон рабочей температуры	от 0 до 40 °С

#### **1.3.4.4 Одноточечный лазерный виброметр LaserPoint LP01**

Данный лазерный виброметр изготавливается компанией Optical Measurement Systems [11] и предназначен для проведения измерений на расстоянии от одного сантиметра до пяти метров, не требуя регулировки, смены линз или обработки контролируемого объекта.



Рисунок 5 – Одноточечный лазерный виброметр LaserPoint LP01

Таблица 5 – Технические характеристики лазерного виброметра LaserPoint LP01

Категория	Характеристика
Диапазон скоростей	от 5 мкм/с до 800 мм/с
Диапазон частот вибрации	От 0,01 Гц до 20 кГц
Рабочее расстояние	от 1 см до 5 м
Диапазон перемещения	от 0,04 нм (при 20 кГц) до 120 мм (при 1 Гц)
Оптика	Коллимированный (фокусировка не требуется)
Поверхностная отражательная способность	Реалистичные поверхности
Выходной сигнал	Аналоговая скорость и FM-выходы 10,7 МГц
Размеры, мм	Лазерная головка: 240 x 114 x 76
	Электронный контроллер: 300 x 220 x 60
Вес, кг	Лазерная головка: 1,4
	Электронный контроллер: 3,9
Фильтры нижних частот, кГц	1, 2, 5, 10, 20
Выходное напряжение (макс.), В	± 10
Лазер	780 нм (для измерений), 650 нм (для наведения)
Напряжение питания	от 100 до 230 В переменного тока при 50/60 Гц
Диапазон температур	3 — 45°C

### 1.3.4.5 Сравнение лазерных виброметров

Каждый выше рассмотренный лазерный виброметр отбирался согласно двум основным параметрам:

- 1) использование эффекта Доплера в качестве основного физического принципа;
- 2) сканирование объекта контроля должно осуществляться при помощи одного лазерного луча, т.е. должно быть одноточечным.

Теперь сравним приведенные выше лазерные доплеровские виброметры (Таблица 6).

Таблица 6 – Сравнение лазерных доплеровских виброметров

Модель виброметра	ЕСМА PNV-RD-AVD1	PDV-100	ОптоМЕТ серии Vector	LaserPoint LP01
Тип лазера	Гелий-неоновый лазер			InGaAs
Длина волны лазера, нм	632,8			780
Диапазон скоростей	10 мм/с ... 10 м/с	20 ... 500 мм/с	0 ... 10 м/с	от 5 мкм/с до 800 мм/с
Дальность измерения	0.2 ... 30 м	0.1 ... 30 м	От 0 до 21 м	от 1 см до 5 м
Диапазон частот вибрации	0,1 ... 250 000 Гц	0.5 Гц ... 22 кГц	до 25 МГц	От 0,01 Гц до 20 кГц
Цена	4,5 млн. руб.	–	–	–

Каждый прибор оснащен собственной системой детектирования, однако все они используют точечное измерение скорости вибрации самого объекта контроля. Для каждого прибора не имеет значения, на какую поверхность падает измерительный луч, цвет и шероховатость не влияют на результат измерения.

#### 1.4 Применение лазерных сканеров

Триангуляционные лазерные 3D-сканеры используют лазерный луч для того, чтобы прозондировать объект. Камера фиксирует расположение точки, куда попал лазер.

Триангуляционный метод контроля основан на расчете искомого расстояния через соотношения треугольника с использованием известных параметров системы. Технология называется триангуляцией потому, что камера, лазерный излучатель и сама лазерная точка на поверхности объекта образуют своеобразный треугольник. В этой системе известна длина одной из сторон треугольника – это расстояние между лазерным излучателем и камерой. Также известен угол лазерного излучателя, а угол камеры определяется по расположению лазерной точки в поле обзора камеры. Эти три характеристики полностью формируют размер треугольника и указывают на расположение угла лазерной точки. Лазерная триангуляции осуществляется путем проектирования лазерной линии или точки

на объект, а затем регистрации ее отражения с помощью датчиков, расположенных на известном расстоянии от лазерного источника [12]. В результате угол отражения может быть интерпретирован как информация о рельефе (Рисунок 6).

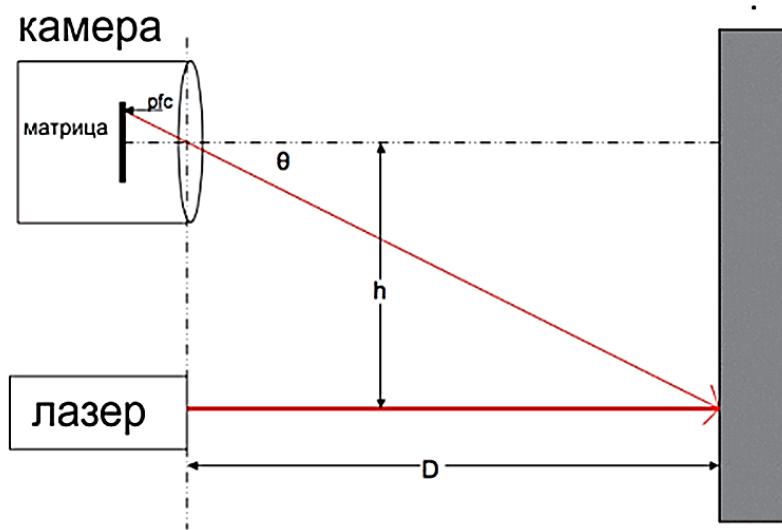


Рисунок 6 – Принцип работы триангуляционного лазерного дальномера

Лазерный луч проецируется на объект в поле зрения камеры. Этот луч должен быть идеально параллелен оптической оси камеры. Лазерная точка захватывается вместе с остальной сценой. Необходимо найти на изображении яркое пятно. Предполагается, что точка лазера является более яркой на фоне более темного объекта. Затем нам нужно рассчитать дальность до объекта.

Как мы видим из рисунка Рисунок 6, расстояние  $D$  может быть рассчитано по формуле:

$$D = \frac{h}{\text{tg } \theta}, \quad (2)$$

где  $h$  – фиксированное расстояние.

Угол  $\theta$  можно определить как

$$\theta = pfc \cdot rrc \cdot ro, \quad (3)$$

где  $pfc$  – номер пикселя центра светлой точки от центра изображения;  $rrc$  – радиан на пиксель;  $ro$  – компенсация.

Количество пикселей от центра плоскости изображения до лазерной точки может быть найдено простым подсчетом. Для получения других параметров необходимо выполнить калибровку.

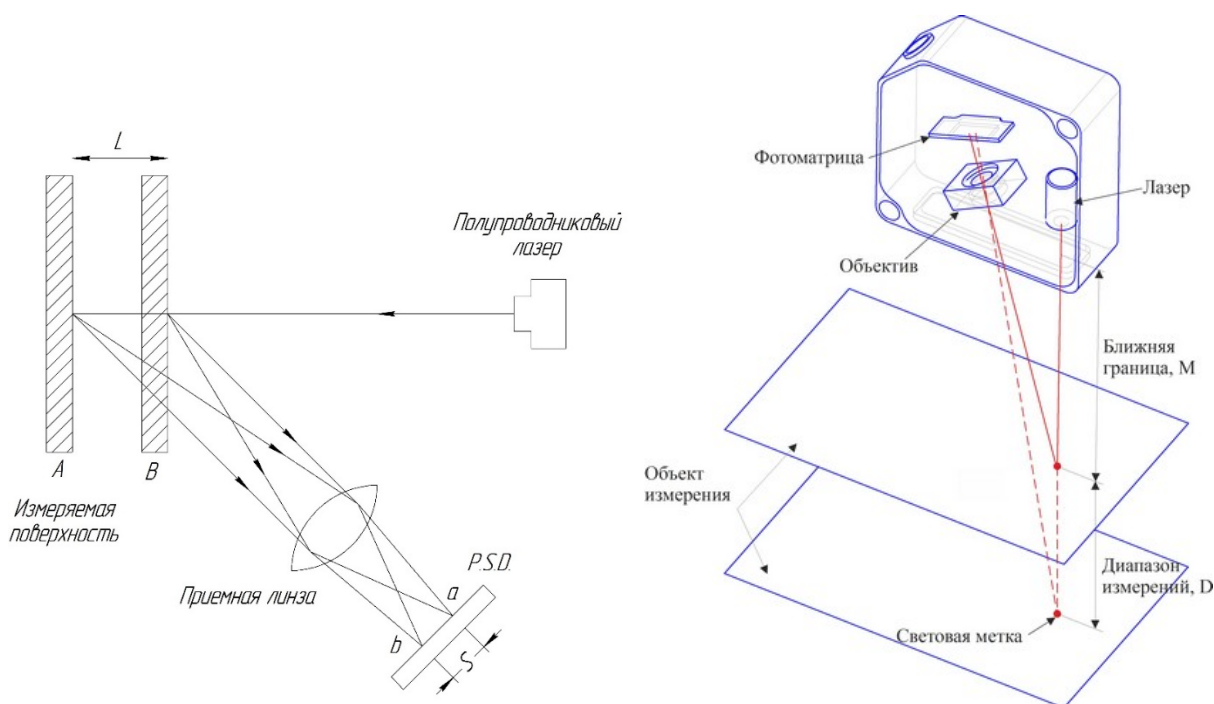


Рисунок 7 – Схема триангуляционного датчика измерений расстояний

Для калибровки системы используется серия измерений, где известна дальность до цели, а также количество пикселей центра изображения до точки лазера:

$$\theta_{\text{факт}} = \arctg\left(\frac{h}{D_{\text{факт}}}\right) \quad (4)$$

Теперь можно вывести расчетные соотношения или просто использовать линейную зависимость угла от номера пикселя.

На таком принципе построена и работа промышленных триангуляционных измерителей расстояния (Рисунок 7).

Одним из конкретных улучшений, которые могут быть внесены в работу этого дальномера, является проекция горизонтальной лазерной линии вместо точки. Таким образом, можно вычислять расстояние до цели для каждого ряда пикселей на изображении.

## 1.5 Применение лазерных интерферометров

Принцип действия лазерных интерферометров заключается в считывании интерференционной картины, образованной вследствие падения на объект лазерного пучка и его отражении с образованием полос света (интерференционных максимумов) при совпадении отраженного и падающего пучков света.

На Рисунок 8, ниже приведена схема интерферометра Майкельсона, реализованная лабораторией LIGO для фиксирования гравитационных волн от двух сливающихся черных дыр в космическом пространстве [13].

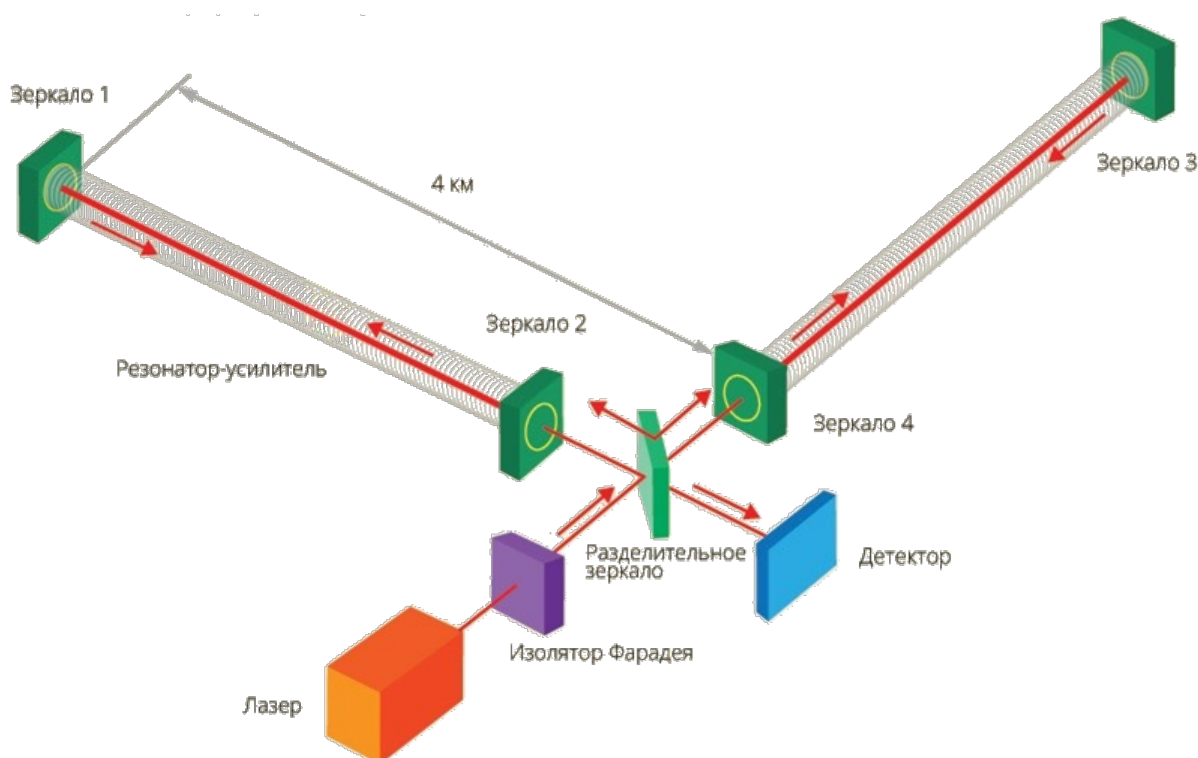


Рисунок 8 – Схема интерферометра LIGO для фиксирования гравитационных волн

Чувствительность к колебаниям подобного интерферометра составляет порядка  $10^{-22}$  метра, что является самой точной на сегодняшний день величиной.

Это в первую очередь говорит о том, что интерферометрический метод измерения колебаний, или вибрации, является самым точным из существующих на данный момент.



## 1.6 Применение ЛДИС

Лазерные доплеровские измерители скорости (ЛДИС) основываются на эффекте Доплера, который заключается в изменении частоты падающего излучения в результате изменения скорости объекта, то есть

$$f_{\text{пр}} = f_0 \pm \frac{2V_{\text{отн}} \cos \theta}{\lambda_0} = f_0 \pm 2f_{\text{сд}}, \quad (5)$$

где  $f_{\text{пр}}$  – частота принимаемого сигнала;

$f_0$  – частота источника волн;

$\lambda_0$  – длина волны источника сигнала;

$V_{\text{отн}}$  – скорость объекта контроля относительно источника;

$f_{\text{сд}}$  – частота сдвига.

В формуле знак «+» применим, когда объект контроля движется навстречу приемнику, знак «-» применим при отдалении объекта контроля от приемника сигнала.

Данная формула применима для случая, когда источник и приемник волн неподвижны, но измеряется скорость движения другого объекта.

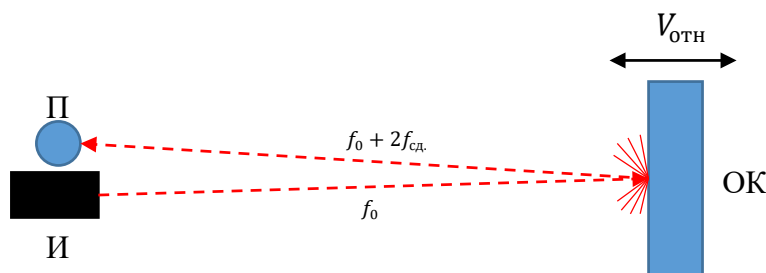


Рисунок 9 – Отражение волн от движущегося объекта: И – источник волн; П – приёмник волн; ОК – объект контроля

Таким образом, применимо к вибродиагностике и для обеспечения минимально затрачиваемого оборудования, то есть, источник и приемник излучения должны располагаться в одном корпусе, данную схему и формулу необходимо использовать для измерения вибрации в объекте контроля.

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

### **5.1 Введение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Результаты данной работы будут полезны для отрасли кабельной промышленности, где измерение параметров кабеля, является необходимым с точки зрения точности. Эта точность зависит от слаженной работы всех частей приборов, осуществляющих измерения, поэтому контролировать уровень вибрации в них является важной задачей. Необходимую точность может обеспечить лазерная доплеровская виброметрия, которая рассматривается в данной работе.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является исследование и разработка конкурентоспособного лазерного виброметра.

## 5.2 Анализ конкурентных технических решений

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. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений представлена в Таблица 7.

Таблица 7 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Бп	Бо	Бв	Кп	Ко	Кв
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Простота проведения	0,1	3	5	1	0,3	0,5	0,1
2. Стоимость услуги	0,2	1	5	3	0,2	1	0,6
3. Точность измерения	0,2	4	5	3	0,8	1	0,6
4. Универсальность метода	0,15	3	4	3	0,45	0,6	0,45
5. Безопасность метода	0,15	5	4	5	0,75	0,6	0,75
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
6. Цена	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
7. Конкурентоспособность	0,1	5	5	2	0,5	0,5	0,2
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>33</b>	<b>21</b>	<b>3,3</b>	<b>4,7</b>	<b>3,1</b>

Где Бп – измерение вибрации пьезоэлектрическим акселерометром;

Бо – измерение вибрации оптическим методом;

Бв – измерение вибрации вихретоковым методом контроля.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \times B_i, \quad (7)$$

где К – конкурентоспособность вида;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

По данным оценочной карты можно увидеть, что для повышения конкурентоспособности с минимальными издержками более эффективно использовать

оптический метод контроля для проведения вибродиагностики, т.е. использовать лазерный виброметр.

### 5.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Он проводится в несколько этапов. Первый этап помогает выявить сильные и слабые стороны проекта, также возможности и угрозы.

Таблица 8 – Матрица SWOT-анализа (этап первый)

<p><b>Сильные стороны проекта:</b>  С1. Экономичность и функциональность технологии  С2. Стоимость системы ниже аналогичных технологий  С3. Простота метода измерения вибрации  С4. Высокая надежность  С5. Подготовка всех требуемых заказчику оборудования и технологии</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>  Сл1. Стоимость системы сильно зависит от стоимости комплектующих материалов  Сл2. Сложность обслуживания системы  Сл3. Погрешности измерения из-за aberrаций линзы  Сл4. Частые поломки из-за хрупкости линзы  Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Увеличение спроса продукции на рынке  В2. Имеем оборудование для выполнения комплексного исследования  В3. Замещение импортной продукции отечественной  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок  В5. Имеет спрос в проведении вибродиагностики</p>	<p><b>Угрозы:</b>  У1. Высокая конкуренция  У2. Узко-направленность продукции  У3. Возможность предпочтения аналогов  У4. Небольшой спрос на товар  У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 9 – Интерактивная матрица сильных и слабых сторон, возможностей и угроз (этап второй)

	Сильные стороны					Слабые стороны					
	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>Сл1</i>	<i>Сл2</i>	<i>Сл3</i>	<i>Сл4</i>	<i>Сл5</i>	
<b>Возможности проекта</b>	<i>B1</i>	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
	<i>B2</i>	0	0	+	0	+	-	+	0	-	+
	<i>B3</i>	+	+	-	+	0	+	+	-	-	0
	<i>B4</i>	+	+	0	+	0	+	-	0	+	-
	<i>B5</i>	+	+	+	+	-	-	-	-	-	0
<b>Угрозы проекта</b>	<i>У1</i>	-	-	-	-	0	+	+	0	0	+
	<i>У2</i>	0	0	+	0	0	-	+	0	-	+
	<i>У3</i>	+	+	+	+	0	+	+	-	-	0
	<i>У4</i>	-	0	0	+	0	+	-	0	+	-
	<i>У5</i>	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-

Анализ интерактивной таблицы (Таблица 9):

Сильно коррелирующие сильные стороны и возможности:

- *B1C1C2C3C4C5*;
- *C3 B1B2C4 B3 B4 B5*;
- *B5 C1C2C3C4*.

Сильно коррелирующие слабые стороны и возможности:

- *У1Сл1 Сл2 Сл3 Сл4 Сл5*;
- *B5 Сл1Сл2 Сл3Сл4*.

Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в работе (Таблица 10).

Таблица 10 – SWOT-анализ (третий этап)

/	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>                  С1. Экономичность и функциональность технологии                  С2. Стоимость системы ниже аналогичных технологий                  С3. Простота метода измерения вибрации                  С4. Высокая надежность                  С5. Подготовка всех требуемых заказчику оборудования и технологии</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>                  Сл1. Стоимость системы сильно зависит от стоимости комплектующих материалов                  Сл2. Сложность обслуживания системы                  Сл3. Погрешности измерения из-за aberrаций линзы                  Сл4. Частые поломки из-за хрупкости линзы                  Сл5. Большой срок поставок материалов и комплектующих</p>
<p><b>Возможности:</b>                  В1. Увеличение спроса продукции на рынке                  В2. Имеем оборудование для выполнения комплексного исследования                  В3. Замещение импортной продукции отечественной                  В4. Повышение стоимости конкурентных разработок                  В5. Имеет спрос в проведении вибродиагностики</p>	<p>1. Провести исследования проекта                  2. Разработать измерительную систему                  3. Корректировать ошибки                  4. Продвинуть проект на рынок                  5. Заключить договора с предприятиями</p>	<p>1. Улучшить систему, сделать ее малогабаритной                  2. Уменьшить погрешности измерения путем аппаратных и программных методов корректировки ошибок                  3. Сделать более эффективную в применении измерительную установку                  4. Защитная конструкция для линзы</p>
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Высокая конкуренция                  У2. Узко-направленность продукции                  У3. Возможность предпочтения аналогов                  У4. Небольшой спрос на товар                  У5. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>1. Снизить конкуренцию за счет простоты и удобства использования продукции                  2. Более низкая стоимость производства и экономичность технологии позволят увеличить спрос, а также минимизировать потери при несвоевременном финансовом обеспечении.</p>	<p>Неудобство работы с крупногабаритной и хрупкой системой, большие погрешности измерения приводит к отсутствию спроса на рынке</p>
<p><b>Угрозы:</b>                  У1. Высокая конкуренция                  У2. Узко-направленность продукции                  У3. Возможность предпочтения аналогов                  У4. Небольшой спрос на товар                  У5. Проблемы с электричеством</p>	<p>1. Увеличить спрос за счет низкой стоимости продукции                  2. Снизить конкуренцию за счет простоты и удобства использования продукции                  3. Установить защиту от поражения электричеством</p>	

**Вывод:** проект имеет сильную сторону – простота метода измерения вибрации, которая обусловлена бесконтактностью проведения измерения. Главная возможность проекта – актуальность и высокий спрос в проведении вибродиагностики лазерным способом. Главной угрозой для проекта является высокая конкуренция, связанная с широким применением пьезоэлектрических акселерометров для проведения вибродиагностики.

## 5.4 Планирование научно-исследовательских работ

### 5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

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 Таблица 11.

Таблица 11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Проведение патентных исследований	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Руководитель Бакалавр
	5	Календарное планирование работ	Руководитель Бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	7	Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов	Руководитель Бакалавр
	8	Измерение вибрации	Бакалавр
	9	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Бакалавр
	10	Устранение погрешности измерения путем аппаратных и программных методов корректировки ошибок	Руководитель Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
	12	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель Бакалавр
Оформление отчета по НИР	13	Составление пояснительной записки	Бакалавр

## 5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (8)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  
 $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;  
 $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ по нескольким исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (9)$$

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.

## 5.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (10)$$

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



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

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

$$T_{\text{кал}} = 365 \text{ дней}$$

$$T_{\text{вых}} = 52 \text{ воскресения}$$

$$T_{\text{пр}} = 14 \text{ дней}$$

Расчет коэффициента календарности:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - (T_{\text{вых}} + T_{\text{пр}})} = \frac{365}{365 - (52 + 14)} = 1,22$$

Таблица 12 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ, чел-дни						Исполнитель		Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{\min}$		$t_{\max}$		$t_{\text{ож}}$							
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Составление и утверждение ТЗ	2	-	5	-	1	-	+	-	3,2	-	4	-
Подбор и изучение материалов по теме	-	10	-	20	-	14	-	+	-	14	-	17
Проведение патентных исследований	-	1	-	3	-	1,8	-	+	-	1,8	-	2
Выбор направления исследований	3	3	5	5	3,8	3,8	+	+	1,9	1,9	2	2
Календарное планирование работ по теме	1	1	2	2	1,4	1,4	+	+	0,7	0,7	1	1
Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	-	10	-	20	-	14	-	+	-	14	-	17
Построение макетов и проведение экспериментов	20	20	30	30	24	24	+	+	12	12	15	15

Продолжение таблицы 12

Измерение частоты вибрации в объекте контроля лазерным лучом	10	10	20	20	14	14	+	+	7	7	9	9
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	-	1	-	3	-	1,8	-	+	-	1,8	-	2
Устранение погрешности измерения	2	2	4	4	2,8	2,8	+	+	1,4	1,4	2	2
Оценка эффективности полученных результатов	2	-	3	-	2,4	-	+	-	2,4	-	3	-
Определение целесообразности проведения ОКР	4	4	6	6	4,8	4,8	+	+	2,4	2,4	3	3
Разработка структурной схемы	-	1	-	2	-	1,4	-	+	-	1,4	-	2
Разработка оптической схемы	-	1	-	5	-	2,6	-	+	-	2,6	-	3
Выбор и расчет конструкции	-	3	-	7	-	4,6	-	+	-	4,6	-	6
Оценка эффективности производства и применения изделия	-	3	-	7	-	4,6	-	+	-	4,6	-	6
Разработка электрической принципиальной схемы	4	4	8	8	5,6	5,6	+	+	2,8	2,8	3	3
Конструирование и изготовление макета	7	7	14	14	9,8	9,8	+	+	4,9	4,9	6	6
Лаб.испытания макета	7	7	14	14	9,8	9,8	+	+	4,9	4,9	6	6
Составление ПЗ	-	10	-	30	-	18	-	+	-	18	-	22
Итого									44	101	53	123

Где: Исп.1 – руководитель; Исп.2 – бакалавр.

Составлен план научного исследования, в котором разработан календарный план выполнения работ. Для построения таблицы временных показателей проведения НИ был рассчитан коэффициент календарности. С помощью показателей (Таблица 12) был разработан календарный план-график проведения НИ по теме (Таблица 13). Для иллюстрации календарного плана была использована диаграмма Ганта, указывающая на целесообразность проведения данного исследования.

Таблица 13 – Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работы	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Составление и утверждение ТЗ	Рук.	4	■											
2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр	17	■	■										
3	Проведение патентных исследований	Бакалавр	2		■										
4	Выбор направления исследований	Рук., Бак.	2		■										
5	Календарное планирование работ по теме	Рук., Бак.	1		■										
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	17		■	■	■								
7	Выбор метода, проведение теоретических расчетов и обоснований	Рук., Бакалавр	15				■	■							
8	Измерение скорости и длины протяженных изделий	Бакалавр	9					■	■	■					
9	Сопоставление результатов	Бакалавр	2							■					
10	Устранение погрешности измерения	Рук., Бак.	2							■					
11	Оценка эффективности полученных результатов	Рук.	3							■	■				
12	Определение целесообразности проведения ОКР	Рук., Бак.	3							■	■				
13	Разработка структурной схемы	Бакалавр	2								■				
14	Разработка оптической схемы	Бакалавр	3								■	■			
15	Выбор и расчет конструкции	Бакалавр	6								■	■	■		
16	Оценка эффективности производства и применения изделия	Бакалавр	6									■	■		
17	Разработка электрической принципиальной схемы	Рук., Бак.	3									■	■		
18	Конструирование и изготовление макета	Рук., Бак.	6										■	■	
19	Лабораторные испытания макета	Рук., Бак.	6										■	■	
20	Составление ПЗ	Бакалавр	22										■	■	■

■ – руководитель

■ – бакалавр

## 5.5 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

### 5.5.1 Расчет материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхи} , \quad (12)$$

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.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (Z <sub>М</sub> ), руб.
Транзисторы 2SC2240	1 штука	3	5	15
Диод ФД-263	1 штука	1	250	250
Микросхема LM386М-1	1 штука	1	15	15

Потенциометры СП2-2-0,5	1 штука	1	14	14
Припой ПОС-61	1 метр	5	20	100
Канифоль сосновая	100 грамм	3	290	870
Плата монтажная	1 штука	1	50	50
<b>Итого</b>				1314

Общие материальные затраты составили 1314 рублей.

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

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Расчет затрат по данной статье представлен в Таблица 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на оборудование, (ЗМ), руб.
Компьютер	1	25000	28750
Паяльная станция	1	2000	2300
Лазерный диод	1	2000	2300
Генератор VC-2002	1	8000	9200
Источник питания постоянного напряжения и тока АТН-4235	1	46000	52900
<b>Итого</b>			95450
<b>Амортизационные отчисления</b>			12450

### 5.5.3 Основная заработная плата исполнителя темы

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:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (13)$$

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

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

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (14)$$

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:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (15)$$

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 16 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	44	48
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	56	28
- невыходы по болезни	2	2
Действительный годовой фонд рабочего времени	249	273

Месячный должностной оклад работника (руководителя):

$$Z_m = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (16)$$

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

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

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – 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 бюджетной организации тарифной сетке.

Тарифный коэффициент для НР = 1,866; для С = 1,407.

Месячный должностной оклад работника взят согласно приказа ТПУ.

Расчёт основной заработной платы приведён в Таблица 17.

Руководитель Федоров Е. М. – доцент ОКД, к.т.н.

Таблица 17 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	$Z_m$ без учета РК, руб.	$Z_m$ с учетом РК, руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Научный руководитель	Доцент	33664	43763,2	1827,86	44	80425,86
Бакалавр	Инженер	26300	34190	1402,67	101	141669,33
Итого						222095,20

#### 5.5.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (17)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, принятый на стадии проектирования за 0,15.

Таблица 18 – Расчет дополнительной заработной платы

	Руководитель	Бакалавр
Основная заработная плата, руб.	80425,86	141669,33
Дополнительная заработная плата, руб.	12063,88	21250,4
Итого дополнительная заработная плата, руб.	33314,28	

#### 5.5.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (18)$$

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

	Руководитель	Бакалавр
Основная заработная плата, руб.	80425,86	141669,33
Дополнительная заработная плата, руб.	12063,88	21250,4
Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, $k_{\text{внеб}}$	0,271	
Итого величина отчислений во внебюджетные фонды, руб.	25064,72	44151,25
Суммарная величина отчислений во внебюджетные фонды, руб.	69215,97	



### 5.5.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Их величина определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = \left( \sum \text{статья } 1 \div 5 \right) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (19)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

Накладные расходы составили:

$$Z_{\text{накл}} = (1314 + 12450 + 222095,20 + 33314,28 + 69215,97) \cdot 0,16 = 54142,31 \text{ руб.}$$

### 5.5.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведено в Таблица 19.

Таблица 19 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Примечание
1. Материальные затраты НИИ	1314	Пункт 5.5.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	12450	Пункт 5.5.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	222095,20	Пункт 5.5.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	33314,28	Пункт 5.5.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	69215,97	Пункт 5.5.5
6. Накладные расходы	54142,31	Пункт 5.5.6
7. Бюджет затрат НИИ	392531,76	Сумма ст. 1-6

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

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

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования определяется как:

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (20)$$

где  $I_{\text{фин.р}}^{\text{исп.}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

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

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп1}} = \frac{392531,76}{485673,63} = 0,808;$$

$$I_{\text{фин.р}}^{\text{исп2}} = \frac{485673,63}{485673,63} = 1;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \times b_i, \quad (21)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1	Исп. 2
1. Погрешность измерения	0,1	5	3
2. Себестоимость	0,15	4	3
3. Помехоустойчивость	0,3	4	1
4. Энергосбережение	0,15	3	2
5. Надежность	0,1	4	4
6. Материалоемкость	0,2	3	5
Итого	1	3,75	2,75

$$I_{p-исп1} = 0,1 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,75;$$

$$I_{p-исп2} = 0,1 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,3 \cdot 1 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 2,75;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.р}} = \frac{3,75}{0,808} = 4,64$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.р}} = \frac{2,75}{1} = 2,75;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{cp}$ ):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}}. \quad (22)$$

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Исп. 1	Исп. 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,808	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,75	2,75
3	Интегральный показатель эффективности	4,64	2,75
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,59

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении является более эффективным вариантом решения задачи, поставленной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

## **5.7 Заключение по разделу финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В ходе работы был проведен экономический анализ проекта, посчитаны разного рода затраты, зарплатные отчисления, составлен SWOT анализ, выявлены сильные и слабые стороны проекта, выявлены конкуренты и произведено сравнение с похожими конкурирующими разработками, составлен календарный рейтинг план с расчетом трудозатрат, а также построена диаграмма Ганта на основе этих данных.

## **Список публикаций**

Харлов Б. Ю. Лазерная вибродиагностика // Ресурсосберегающие технологии в контроле, управлении качеством и безопасности: сборник научных трудов X Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее», Томск, 8-11 Ноября 2021. - Томск: ТПУ, 2022 - С. 126.