

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

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра автоматизации и роботизации в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Составление вибродиагностической карты для автоматизированного оборудования кабельного цеха

УДК 621.315.2.002-5-045.79:005.624.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Ермолаев А.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сикора Евгений Александрович	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Спицын В.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Пустовойтова М.И.	к.х.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Вильнин А.Д.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ
по основной образовательной программе подготовки магистров по направлению
15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств», профиль подготовки «Конструирование технологического
оборудования»
ИК ТПУ, кафедра АРМ, руководитель ООП Сикора Е.А.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие естественнонаучные и математические знания</i> для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современного машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных инженерных задач</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п.2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P3	Ставить и решать <i>инновационные задачи инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P4	<i>Разрабатывать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P5	Проводить теоретические и модельные <i>исследования</i> в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК-16.). Критерий 5 АИОР (п.1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12,13,14). Критерий 5 АИОР (п.1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

	окружающей среды	
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК -4, ПК-2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п.2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.	Требования ФГОС ВО (ОПК-1, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> , компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .
P11	<i>Самостоятельно</i> учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п.2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i> .

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

Институт кибернетики

Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

Кафедра автоматизации и роботизации в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ51	Ермолаеву Андрею Владимировичу

Тема работы:

Составление вибродиагностической карты для автоматизированного оборудования кабельного цеха	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 21.04.2017 № 2753/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Исходные данные к работе

(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.).

Учебный вибрационный стенд

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (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).</p>	<p>Уточнение и дополнение признаков дефектов, определяемых вибродиагностикой.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Спицын В.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Пустовойтова М.И.</p>
<p>Английский язык</p>	<p>Куркан Н.В.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Обзор литературы</p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сикора Е.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Ермолаев А.В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 91 с, 18 рисунков, 24 таблицы, 10 источников, одно приложение.

Ключевые слова – Вибрация, вибродиагностика, вибродиагностическая карта, вибрационный стенд, математическое моделирование.

Цель работы – Изучение типовых дефектов вибрационного стенда, определяемых вибродиагностикой. Уточнение диагностических признаков дефектов.

Объект исследования – учебный вибрационный стенд.

Предмет исследования – эксплуатационные дефекты, моделируемые в работе вибрационного стенда.

В процессе исследования проведён анализ признаков дефектов оборудования, определяемых вибродиагностикой,

В результате исследования составлена вибрационная карта с помощью математического моделирования и экспериментов на учебном стенде.

Составлена электронная версия вибрационной карты.

Определения и обозначения

Вибрация – колебание тела относительно точки равновесия

Вибродиагностика – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе комплекса параметров вибрации для определения состояния оборудования

Вибрационная карта – таблица возможных дефектов оборудования, определяемых вибродиагностикой.

Оглавление

Реферат.....	6
Определения и обозначения	7
Оглавление.....	8
Введение	10
1. Обзор литературы	12
1.1 Обзор вибрационных учебных стендов.....	12
1.2 Обзор типовых дефектов	14
1.2.1 Неуравновешенность ротора	14
1.2.2 Дефекты ременной передачи	15
1.2.3 Дефекты подшипников качения.....	17
1.2.4 Дефекты электромагнитной системы электродвигателей.....	21
1.3 Выводы по первому разделу.....	25
2. Объект и методы исследования.....	26
3. Расчеты и аналитика	29
4. Экспериментальная часть	32
4.1 Неуравновешенность ротора	32
4.2 Моделирование недостаточного натяга ремня	33
4.3 Моделирование перекоса в подшипнике	33
4.4 Моделирование дефектов в электродвигателе.	35
4.5 Заключение	38
5.1 Общие сведения о научном исследовании.....	39
5.2. Предпроектный анализ.....	40
5.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования	40
5.2.2 Анализ конкурентных технических решений.....	41
5.2.3 SWOT-анализ	41
5.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	43
5.4 Планирование научно-исследовательских работ	44
5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	44
5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	44
5.4.4 Расчет материальных затрат НИИ.....	49

5.4.5 Основная заработная плата исполнителей.....	49
5.4.6 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	52
5.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	52
5.4.8 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.	53
5.4.9 Накладные расходы	55
5.4.10 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	55
5.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	56
5.6. Заключение.....	58
6. Социальная ответственность	60
Введение	60
6.1 Профессиональная социальная безопасность.....	61
6.2 Экологическая безопасность	70
6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	73
6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.	75
6.5 Заключение	78
Источники литературы.....	79
Приложение А	80
7. Review of literature.	81
7.1 Review of vibration test bench.	81
7.2 Review of typical defects.....	83
7.2.1 Rotor unbalance	83
7.2.2. V-belt defects.....	84
7.2.3 Defects of rolling bearings.....	85
7.2.4 Defects of the electromagnetic system of electric motors	88
7.3 Conclusion	91

Введение

Вибродиагностика является одним из основных методов неразрушающего контроля. С помощью данного метода можно контролировать оборудование, диагностировать неисправности, прогнозировать дальнейшее развитие неисправностей оборудования. Преимуществом вибродиагностики является контроль параметров текущего состояния машинного оборудования в процессе эксплуатации без его демонтажа[1]. Данная работа состоит в определении возможных неисправностей для машинного оборудования, в роли которого выступает учебный стенд, и составлении вибродиагностической карты, по которой определяются неисправности. Это необходимо для выявления и определения дефекта на ранней стадии его появления.

Проблема

Системы непрерывного мониторинга применяются для записи и оценки необходимых параметров шума и вибрации на соответствие нормативным требованиям. При своих преимуществах системы непрерывного мониторинга обладают большим недостатком – высокой ценой. Дешевле контролировать параметры шума и вибрации виброанализатором за какой-либо промежуток времени.

Противоречия

Необходимо выявлять дефекты оборудования на ранней стадии их развития, но при этом снизить затраты на их выявление.

Объектом исследования является учебный вибрационный стенд.

Предметом исследования являются эксплуатационные дефекты, моделируемые в работе вибрационного стенда.

Цель работы – Изучение типовых дефектов вибрационного стенда, определяемых вибродиагностикой. Уточнение диагностических признаков дефектов.

Задачи:

1. Аналитическая часть.
 - 1.1. Найти и изучить информацию об учебных вибрационных стендах.
 - 1.2. Найти и изучить информацию о типовых дефектах, которые могут встретиться на учебном стенде.
2. Исследовательская часть.
 - 2.1. Составить принципиальную схему стенда.
 - 2.2. Описать принцип работы стенда.
 - 2.3. Составить расчётную схему стенда.
 - 2.4. Написать математическую модель стенда.
 - 2.5. Произвести необходимые исследования.
 - 2.6. Составить вибрационную карту для стенда.
3. Дополнительная часть.
 - 3.1. Описать экономические показатели работы.
 - 3.2. Описать социальную ответственность.
 - 3.3. Написать выводы о работе.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Уточнены диагностические признаки дефектов.
2. Разработана математическая модель учебного вибрационного стенда для определения дисбаланса ротора.

Научные положения:

1. Результаты исследования и моделирования дефектов на вибрационном стенде.
2. Математическая модель учебного вибрационного стенда для определения дисбаланса ротора.

Практическая значимость заключается в уточнении диагностических признаков неисправностей вибрационной карты.

1. Обзор литературы.

1.1 Обзор вибрационных учебных стендов

В России есть ряд компаний, которые занимаются разработкой, изготовлением и реализацией оборудования, предназначенного для работы с вибрацией. Среди этого оборудования - виброметры, виброанализаторы, балансировочные станки, вибрационные стенды. Также, компании предлагают свои услуги по обучению работы со своим оборудованием, преподают курсы вибродиагностики. В частности, компании «Диамех» и «Baltech» поставляют на рынок учебные стенды и проводят обучение специалистов по вибродиагностике.



Рисунок 1. Вибрационный стенд «Протон» компании Baltech.

Рассмотрим учебный вибрационный стенд компании «Baltech», изображенный на рисунке 1.

«ПРОТОН-Стенд» предназначен для моделирования процессов, связанных с динамической балансировкой роторов в собственных опорах, а также виброконтроля и вибродиагностики. Кроме дисбаланса на стенде возможно имитировать разные типы несоосности (угловую и параллельную).

На стенде предусмотрены две плоскости корректировки по 1-5 точкам измерения.

Скорость вращения изменяется плавно с помощью частотного регулятора оборотов в диапазоне до 50 Гц (до 3000 об/мин). Две плоскости балансировки имеют разметку с местами установки балансировочных масс. В комплекте со стендом прилагаются балансировочные массы для проведения тренировок.

Данный учебный стенд предназначен для специалистов ремонтных служб промышленных предприятий, слушателей ВУЗов, колледжей, учебных комбинатов, профессиональных училищ, программа которых предусматривает изучение направления «Основы вибродиагностики».



Рисунок 2. “Machinery fault simulator” компании SpectraQuest.

За рубежом также существуют компании, которые поставляют на мировой рынок то же самое оборудование, отличающееся качеством, ценой.

Для примера, американская компания SpectraQuest, поставляет на мировой рынок большое количество различного оборудования, в том числе:

- различные учебные стенды(широкий ассортимент);
- различные вибromетры, виброанализаторы;
- программное обеспечение.

Рассмотрим подробнее учебный вибрационный стенд компании SpectraQuest, представленный на рисунке 2. Его конструкция предполагает выполнение тех же задач, для которых создавался стенд компании “Baltech”. Отличия состоят в наличии защитного каркаса и возможности выполнения на стенде других работ.

1.2 Обзор типовых дефектов

1.2.1 Неуравновешенность ротора

Неуравновешенность ротора механического происхождения вызывается возникновением (в силу различных причин) отклонений рабочих геометрических размеров ротора от номинальных конструктивных, т.е. дисбаланса. При вращении такого ротора с некоторой угловой скоростью в каждом поперечном сечении, имеющем отклонение размеров от номинальных, возникает центробежная сила, вращающаяся вместе с ротором и вызывающая переменные нагрузки на опоры. При этом для наблюдателя результирующая центробежная сила вращается, как и её отдельные составляющие, но для ротора она неподвижна и является статической нагрузкой, которая может вызывать значительный изгиб.

Неуравновешенность ротора - такое состояние механизма, при котором главный вектор или главный момент сил инерции не равны нулю. Различают:

- Статическую неуравновешенность(ось вращения ротора не совпадает с главной центральной осью инерции ротора и параллельна ей.)
- Моментную неуравновешенность(ось вращения ротора пересекается с главной центральной осью инерции в центре масс ротора)
- Динамическую неуравновешенность(ось вращения ротора и его главная центральная ось инерции пересекаются не в центре масс или перекрещиваются. Динамическая неуравновешенность состоит из статической и моментной неуравновешенности.)

Кривые (формы сигнала) виброперемещения и виброскорости при неуравновешенности ротора и при отсутствии других развитых дефектов агрегата во многих случаях периодические или почти периодические, с периодом колебаний, соответствующим частоте вращения ротора и имеют форму, близкую к синусоидальной. Амплитуда и фаза вибрации на частоте вращения ротора практически стабильны во времени. Кривая (форма сигнала) виброускорения часто имеет более “сложный”(“случайный”) характер, особенно если ротор опирается на подшипники качения.

В амплитудном спектре вибрации составляющая на частоте вращения ротора является преобладающей и, в большинстве случаев, её величина, при отсутствии других, кроме дисбаланса дефектов, значительно(в два и более раз) превышает величину вибрации на её высших гармониках, а уровень шумовых компонент спектра на 40..50 дБ.[2]

1.2.2 Дефекты ременной передачи

Из основных дефектов ременной передачи, доступных для обнаружения простейшей системой мониторинга состояния по вибрации и температуре подшипниковых узлов, кроме дефектов собственно подшипников, можно выделить следующие:

- дефекты ведущего или ведомого вала и насаженного на вал шкива,
- непараллельность валов или смещение шкивов друг относительно друга,
- дефекты ремня,
- дефект натяжения ремня,

Для обнаружения указанных дефектов ременной передачи, как и предыдущей зубчатой, необходимо измерять вибрацию подшипниковых узлов каждого вала (в радиальном к оси вращения вала направлении), а также их температуру и, по возможности, температуру вращающихся шкивов. При работе передачи в нескольких режимах нагрузки с одновременным изменением частоты вращения привода также следует выбирать два – три типовых режима, измеряя

на каждом и внося в базу данных частоту вращения ведущего или ведомого вала.

При рассматриваемых дефектах ременной передачи вибрация может расти в частотных полосах третьоктавного спектра, соответствующих:

- частоте вращения одного из валов (дефекты вала или посадки шкива),
- второй гармонике частоты вращения валов (непараллельность валов или смещение шкивов),
- частоте вращения ремня и ее гармониках (дефекты ремня),
- высоким частотам (избыточное натяжение ремня с перегрузкой подшипников).

Избыточное натяжение ремня может привести к росту СКЗ ультразвуковой вибрации и росту температуры большинства подшипников, недостаточный натяг – к росту температуры шкивов.

Часто встречающейся особенностью ременной передачи является близость частоты вращения ремня и сепаратора подшипников наиболее высокооборотного вала передачи.

Поскольку используемые признаки дефектов ремня и подшипников качения практически совпадают, рост вибрации в третьоктавных полосах частот, кратных 0,4 от частоты вращения ведущего вала может не быть достаточным признаком дефекта ремня. Необходимо проводить независимый анализ признаков дефектов подшипников, особенно в области высокочастотной вибрации, для нескольких точек контроля вибрации передачи и идентифицировать дефект ремня, если признаки присутствуют в нескольких (не менее двух) точках контроля. [3].

1.2.3 Дефекты подшипников качения

Типовые дефекты подшипников качения, доступные для идентификации в целях глубокой диагностики и долгосрочного прогноза состояния подшипника можно разделить на пять разных групп:

- перегрузка поверхностей качения,
- износ (равномерный) поверхностей качения,
- дефекты поверхностей качения (неравномерный износ, сколы, раковины, трещины наружного и внутреннего колец, тел качения),
- дефекты поверхностей скольжения (износ, трещины сепаратора и защитных шайб)
- дефекты смазки.

Опыт эксплуатации оборудования показывает, что если на агрегат монтируется бездефектный подшипник, то основные причины его выхода из строя распределяются приблизительно следующим образом: 40% - нарушения смазки, 30%- нарушения сборки и установки, 20% - неправильное применение, повышенная вибрация и др. и только 10% - естественный износ.

Составляющие (компоненты) вибрации разной частоты:

- *низкочастотная вибрация*, опасная для человека и снижающая ресурс механизмов (типовой частотный диапазон до 300-500Гц), нормируется СКЗ виброперемещения или виброскорости до частоты 1000Гц (передается от источника колебательных сил к любому узлу механизма),

- *среднечастотная вибрация* (типовой частотный диапазон от 300-500Гц до 3-5кГц), распространяется от источника колебательных сил до точек ее контроля с растущими с частотой потерями и является источником опасного для человека воздушного шума механизма (шум механизма нормируется до 10кГц.),

- *высокочастотная вибрация* (типовой частотный диапазон от 3-5кГц до 15-20кГц), быстро затухающая на контактных поверхностях между узлами механизма, обычно содержит подробную информацию о силах трения в

контролируемом узле или пульсациях давления в потоке жидкости (газа), передаваемых на корпус механизма.

- *ультразвуковая вибрация* (выше 15-20кГц), возбуждаемая при механическом контакте поверхностей трения с разрывом масляного слоя, характеризует качество его функционирования, при распространении значительная часть ультразвуковой вибрации отражается от контактных поверхностей между узлами механизма.

Идентификация дефектов подшипника качения может проводиться по низкочастотной и среднечастотной вибрации подшипникового узла (по росту соответствующих рядов подшипниковых составляющих в ее спектре), по высокочастотной вибрации узла (по частотам периодической модуляции возбуждающих вибрацию сил трения в подшипнике) и ультразвуковой вибрации (по периодичности ударных импульсов, возникающих при разрывах масляной пленки).

Первой задачей идентификации дефектов подшипника по измерениям простейшей системой мониторинга является сравнение третьоктавных спектров вибрации и параметров высокочастотной и/или ультразвуковой вибрации (СКЗ и Пика) с порогами.

Если превышены пороги СКЗ или Пика ультразвуковой вибрации только в одном подшипниковом узле, наиболее вероятен дефект подшипника именно в этом узле, а если порог превысила температура узла, дефект представляет реальную опасность.

Если дополнительно к росту ультразвуковой вибрации имеет место ее рост хотя бы в одной из третьоктав на средних частотах (обычно начиная с 1-2кГц), и нет значительного роста вибрации в этой же третьоктаве у других узлов механизма, дефект подшипника опасен даже при отсутствии роста температуры дефектного узла.

Указанные признаки дефекта подшипников относятся и к дефектам поверхностей качения, и к поверхностям скольжения, и к дефектам смазки. Не оказывают большого влияния высокочастотную вибрацию лишь дефекты в

виде перегрузки поверхностей качения и равномерного износа подшипников.

Дефект смазки является не только причиной многих дефектов подшипника, но и следствием практически любого развитого дефекта, так как на определенной стадии развития все дефекты становятся источником продуктов износа, приводящих к ухудшению состава смазки. Поэтому контроль состояния подшипника должен начинаться с контроля состояния смазки.

Основным вибрационным признаком дефектов смазки (в том числе из-за дефектов поверхностей трения) в подшипниках качения является рост высокочастотной и ультразвуковой вибрации подшипниковых узлов, при котором контролируемые параметры превышают устанавливаемые пороговые значения. На начальных стадиях развития дефекта смазки растет, прежде всего, пик ультразвуковой вибрации.

Рост температуры одного подшипникового узла без сопутствующего роста его ультразвуковой вибрации чаще всего является следствием избытка смазки в подшипнике. Кроме того, из-за наличия естественных и незначительных неровностей поверхностей качения подшипника продавливание смазки, как правило, приводит к росту среднечастотной вибрации подшипникового узла, и этот признак перегрузки также необходимо принимать во внимание.

Существуют несколько характерных особенностей проявления дефектов подшипников в исходных вибрационных сигналах, и в получаемых на их основе «прямых» спектрах мощности.

Во-первых, это наличие на зарегистрированном сигнале вибрации явно выраженных периодических ударных процессов. Каждый удар, возникающий при обкатывании зоны дефекта телами качения подшипника, характеризуется целым набором параметров - максимальной амплитудой удара, частотой возникающих свободных колебаний, и скоростью затухания этих колебаний.

Во-вторых, это наличие в спектре вибрационного сигнала большого количества «нецелых» компонент, или, беря за базу оборотную частоту поддерживаемого ротора, гармоник с дробными номерами. Частоты этих

нецелых гармоник определяются подшипниковыми соотношениями. Кроме того, при определенных типах дефектов подшипников эти гармоники сами создают свои семейства и гармоники на частотах взаимного биения, которые еще больше усложняют процедуру диагностики.

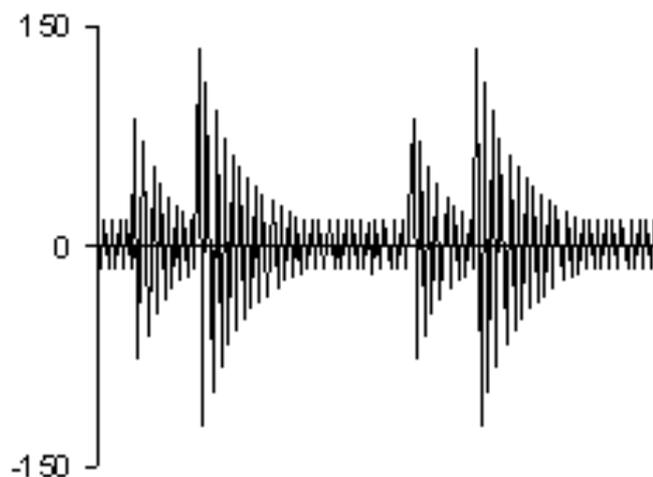


Рисунок. 3. Вибрационный сигнал, зарегистрированный на подшипнике качения с развитым дефектом.

Стадии развития дефектов в подшипниках.

I. В этом спектре, наряду с первыми, механическими, гармониками оборотной частоты вращения ротора, появляется пик на характерной частоте дефекта того или иного элемента подшипника. На этой стадии развития дефекта характерная «подшипниковая» гармоника уже хорошо видна на спектре, что позволяет достаточно точно выявлять дефектный элемент, особенно если представлять амплитуду гармоник в логарифмическом масштабе.

II Следующая стадия развития дефекта подшипника качения начинается тогда, когда на спектре рядом с подшипниковой гармоникой, очень близко, появляется первая пара боковых гармоник, располагающихся слева и справа.

Дальнейшее развитие дефекта приводит уже к появлению новых семейств гармоник, уже от самой характерной подшипниковой частоты. Обычно появляются гармоники с номером два и три от основной частоты подшипникового дефекта. Рядом с каждой такой гармоникой слева и справа

тоже будут иметь место боковые частоты, число пар которых может быть достаточно большим. Чем более развит дефект, тем больше боковых гармоник и у гармоник частоты дефекта.

III. Развитие дефекта подшипника на этой стадии, при диагностике его по спектрам вибрационных сигналов, проходит следующим образом. Износ подшипника достигает такой стадии, когда характерная частота дефекта, из-за очень большого расширения зоны дефекта, становится нестабильной, такая же участь постигает боковые гармоники. Наложение многих семейств гармоник, каждое из которых состоит из основной частоты и боковых гармоник, создает достаточно сложную картину. Если в этих семействах основные гармоники различаются по частоте немного, то сумма всех этих частот представляет собой общее поднятие спектра, «энергетический горб», захватывающий такой диапазон частот, куда входят все гармоники всех семейств от всех уже существующих дефектов подшипника качения.[3,4,7]

1.2.4 Дефекты электромагнитной системы электродвигателей

В электрических машинах присутствуют два основных вида сил возбуждения электромагнитного происхождения:

- радиальные силы, возникающие при временных и пространственных изменениях магнитного поля в воздушном зазоре между ротором и статором;
- тангенциальные силы, возникающие при взаимодействии магнитного поля с линейной токовой нагрузкой машины.

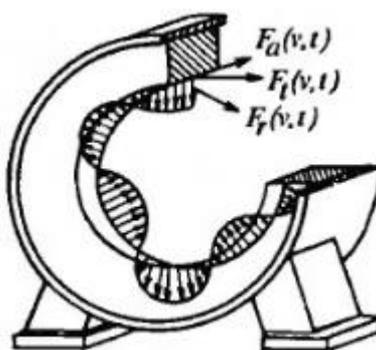


Рисунок 4. Действие возмущающих магнитных сил (радиальных F_r ,

тангенциальных F_t и аксиальных F_a) на статор электрической машины

Аксиальные силы вызывают периодическое распушение и сжатие пакетов шихтованной стали электрической машины, сопровождаемые в некоторых случаях шумом высокой тональности. Качественное закрепление пакетов стали, надежная опрессовка и сжатие их торцевыми кольцами могут обеспечить монолитность сердечника и тем самым практически исключить влияние аксиальных магнитных сил.

Радиальная сила создается только короткозамыкающим кольцом ротора и его зеркальным отображением. При этом радиальная сила, действующая на обмотку статора, направлена всегда наружу, а радиальная сила, действующая на обмотку ротора, - внутрь. Направление аксиальных сил установить заранее невозможно. Оно зависит от положения короткозамыкающего кольца ротора.

Тангенциальная сила создаёт вращающий момент, который численно равен моменту на валу электродвигателя.

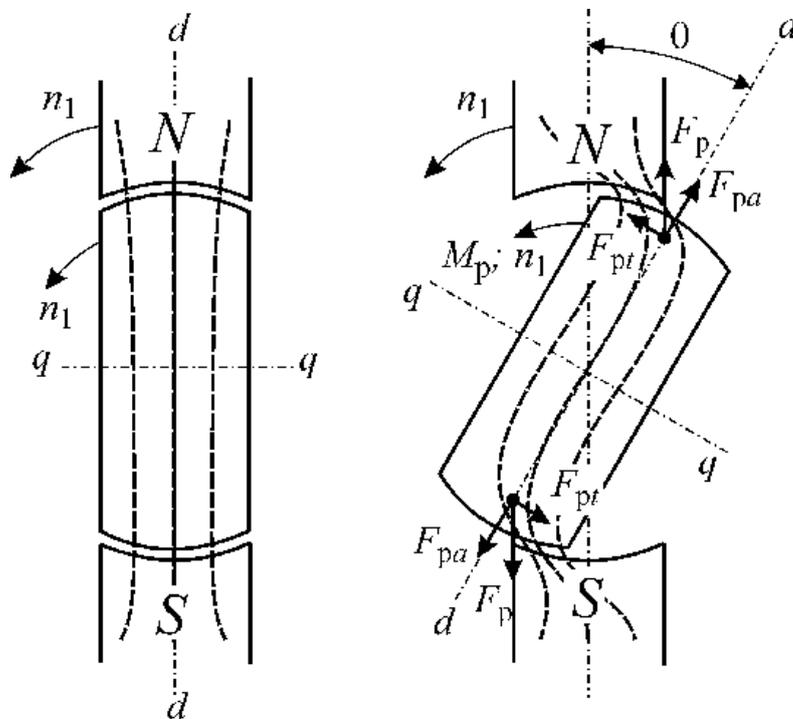


Рис. 2

Рисунок 5. Направление сил во вращающемся магнитном поле статора электродвигателя.

F_{ra} - радиальная сила;

F_{rt} - тангенциальная сила.

Характер этих сил определяется изменением МДС обмоток и магнитной проводимостью воздушного зазора машин, т.е. индукцией магнитного поля и линейной токовой нагрузкой в обмотках машины. При этом возбуждая пространственные колебания статора и изгиб кольца статора, а также изгиб ротора. Источники электромагнитных сил распределены в пространстве и не имеют конкретной точки приложения.

К основным дефектам электромагнитной системы, влияющим на вибрацию синхронной электрической машины (при питании симметричным синусоидальным напряжением в режиме двигателя или при отсутствии несимметрии и нелинейности нагрузки в режиме генератора) относятся:

- дефекты статора (обрывы, короткие замыкания в его обмотках и в активном сердечнике),
- дефекты ротора (обрывы и замыкания в обмотке постоянного тока, дефекты крепления полюсов),
- изменения формы зазора между полюсами и статором (статический и вращающийся эксцентриситеты),
- распушение активных пакетов сердечника статора крупных электрических машин.

Зазоры в синхронных машинах по величине многократно превышают зазоры в асинхронных двигателях, их эксцентриситеты в относительных единицах обычно невелики и на состояние машины влияние практически не оказывают.

Исключение – статический эксцентриситет в крупных машинах, в которых статор и ротор крепятся к фундаменту независимо друг от друга.

В синхронных электрических машинах наибольшие изменения вибрации при дефектах электромагнитной системы могут происходить на частоте вращения ротора, на четных гармониках питающего напряжения и на зубцовых частотах (кратных произведению частоты вращения на $3/2$ от

количества зубцов ротора в неявнополюсных машинах или частоты вращения на количество зубцов статора в явнополюсных машинах). Все другие изменения параметров электромагнитной системы идентифицировать по третьоктавному спектру вибрации крайне сложно.

По обнаруженным изменениям указанных компонент вибрации синхронных электрических машин могут быть идентифицированы следующие группы дефектов:

- статический эксцентриситет зазора, дефекты статора, несимметрия напряжения питания, распушение пакетов статора – по росту вибрации на двойной частоте питающего напряжения,
- короткие замыкания в обмотках возбуждения и дефекты крепления полюсов ротора (вращающийся эксцентриситет зазора) – по одновременному росту вибрации на частоте вращения и на зубцовых частотах,
- частичное магнитное насыщение активного сердечника машины и нелинейные искажения напряжения – по росту вибрации на шестой гармонике питающего напряжения.

Для более подробной идентификации некоторых дефектов синхронной электрической машины можно воспользоваться следующими дополнительными признаками:

- ростом низкочастотной вибрации статора электрической машины (особенно у агрегатов, упруго закрепленных на фундаментах) преимущественно в тангенциальном направлении при дефектах статора, при проблемах с питающим напряжением электродвигателя или с выходным напряжением генератора из-за несимметрии или нелинейности подключаемой нагрузки, а также при магнитном насыщении активного сердечника,
- резким падением уровня вибрации двигателя на частоте вращения ротора и зубцовой частоте при отключении питания (в начальной фазе выбега) при дефектах обмотки возбуждения или узлов крепления

полюсов ротора,

- локальным (в зоне дефекта) нагревом корпуса двигателя при короткозамкнутых витках в обмотке или сердечнике статора,
- ростом вибрации дефектного пакета статора на двойной частоте силового тока и ее гармониках при распушении активного сердечника этого пакета (измеряется вибрация пакета, при наличии средств измерения шума возможен контроль воздушного шума в ближней к пакету зоне).[4]

1.3 Выводы по первому разделу

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы и поставить задачи исследования:

В результате анализа неуравновешенности ротора выяснилось, что её основным диагностическим признаком является высокая амплитуда на оборотной частоте.

1. Анализ дефектов ремня показал, что из-за схожести признаков дефектов ремня с признаками дефектов подшипников необходимо отделять составляющие вибрации подшипников от вибраций ремня.
2. Анализ неисправностей подшипников показал, что необходимо измерять спектр огибающей, следить за пиками на частотах внутреннего и внешнего колец.
3. Анализ дефектов электромагнитной системы электродвигателя показал, что для определения дефектов необходимо использовать дополнительные признаки, как рост температуры на корпусе двигателя, падение амплитуды на частоте вращения при отключении питания, и рост низкочастотной вибрации.

2. Объект и методы исследования

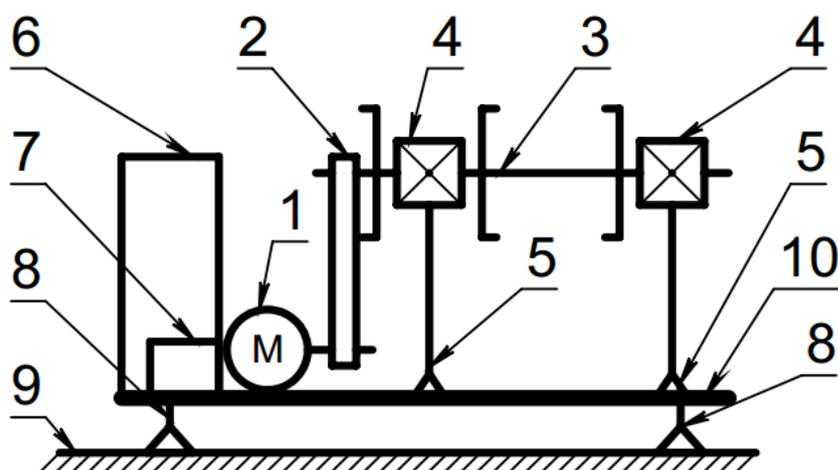


Рисунок 6. Принципиальная схема стенда

На рисунке 6 представлена принципиальная схема стенда. Ротор 3, установленный в подшипниках 4, которые расположены в стойках 5, получает вращательное движение от электродвигателя 1 через ременную передачу 2. Управление двигателем осуществляется через панель 7, блок 6 управляет оборотами двигателя. Двигатель 1, стойки 5, блок 6 и панель 7 расположены на плите 10, которая имеет опоры 8, которые опираются на опорную поверхность 9.

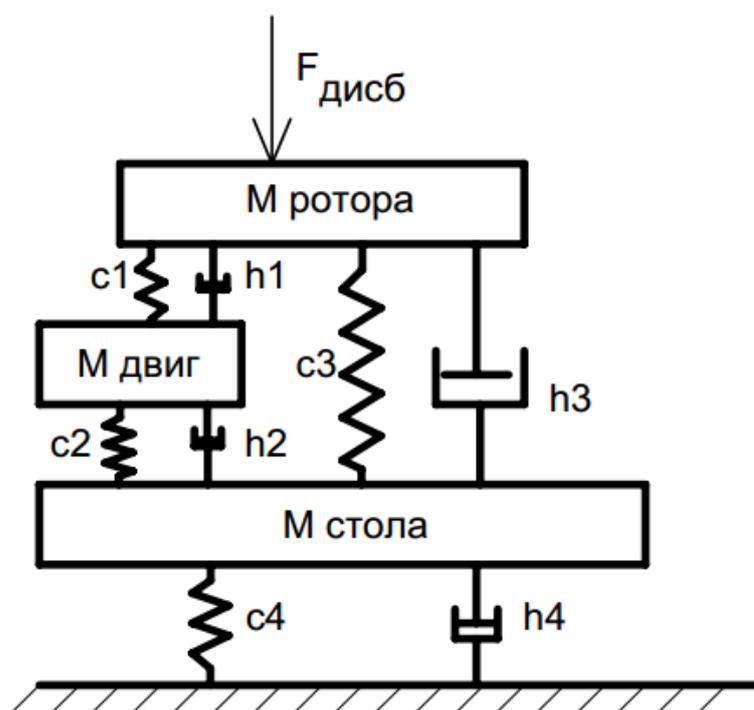


Рисунок 7. Расчётная схема вибрационного стенда

На рисунке 7 представлена расчётная схема, по которой будет производиться моделирование вибрационного стенда.

c_1 – жесткость ременной передачи;

c_2 – жесткость крепления двигателя;

c_3 – приведённая общая жесткость опор ротора;

c_4 – приведённая общая жесткость опор стола;

h_1 – вязкость ременной передачи;

h_2 – вязкость крепления двигателя;

h_3 – приведённая общая вязкость опор ротора;

h_4 – приведённая общая вязкость опор стола.

Из составленной расчетной схемы, составим уравнения для создания математической модели. Для начала запишем определим внешние нагрузки, воздействующие на систему.

Сила дисбаланса моделируется по синусу, с определенной частотой, в начальный момент прикладывается сила [8,9]:

$$F_{\text{дисб}} = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

Сила равна постоянному значению:

$$F_{\text{дисб}} = \text{const}$$

Полученная система уравнений:

$$a_1 = (F - h_1 \cdot V_1 - c_1 \cdot (X_1 - X_2)) / m_1;$$

$$a_2 = (c_1 \cdot (X_1 - X_2) - c_2 \cdot (X_2 - X_3) - h_2 \cdot (V_2 - V_3)) / m_2;$$

$$a_3 = (c_2 \cdot (X_2 - X_3) + h_2 \cdot (V_2 - V_3) - c_3 \cdot X_3 - h_3 \cdot V_3) / m_3.$$

Где:

X_1 – перемещение ротора;

X_2 – перемещение электродвигателя;

X_3 – перемещение стола;

V_1 – скорость ротора;

V_2 – скорость электродвигателя;

V_3 – скорость стола.

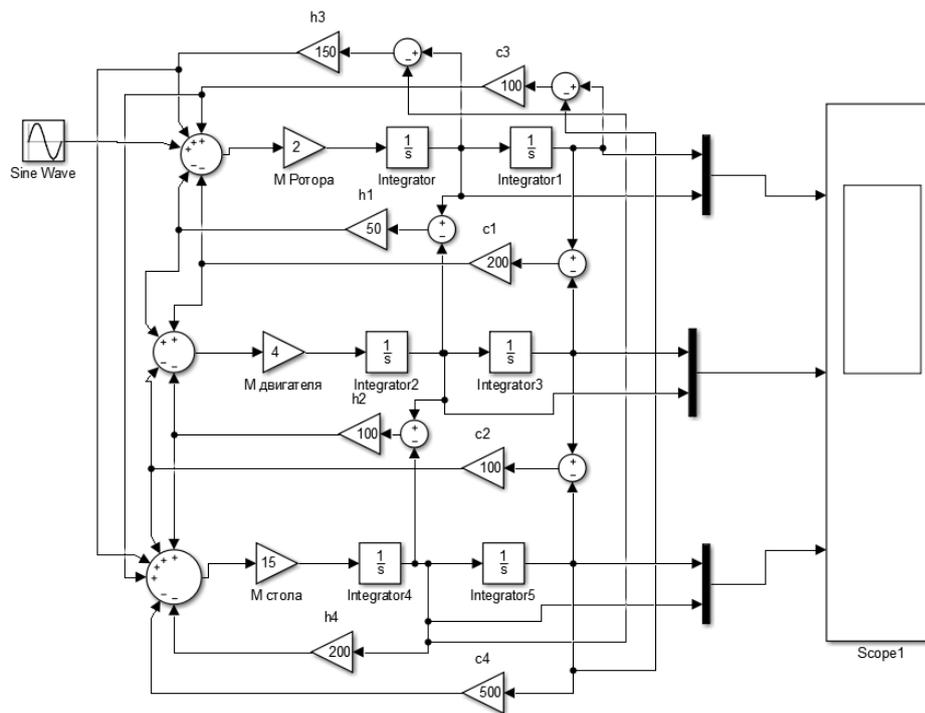


Рисунок 8. Вид динамической модели в Simulink.

Дополнительно, создана динамическая модель в Matlab Simulink(рисунок 8), с помощью которой проводились исследования.

3. Расчеты и аналитика.

h_1 – вязкость ремня = 0,01.

c_1 – жесткость ременной передачи - $0.26/0.01=26.9$ Н/м

c_2 -жесткость крепления двигателя к столу - 200 Н/м.

c_3 -жесткость крепления ротора к столу- $\frac{1}{c_3} = \frac{1}{4c_{\text{опор}}} + \frac{1}{2c_{\text{сподш}}} = 459 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

где сподш - жесткость подшипника, с опор - жесткость опор

c_4 -жесткость крепления стола к поверхности - 100 Н/м.

h_2 -вязкость крепления двигателя к столу-10.

h_3 -вязкость крепления ротора к столу-10.

h_4 -вязкость крепления стола к поверхности -10.

Коэффициенты h_2, h_3, h_4, c_4 подбирались эмпирическим способом, зная реальные значения вибрации подбирались значения коэффициентов таким образом, чтобы приблизить результаты математической модели к реальному устройству.

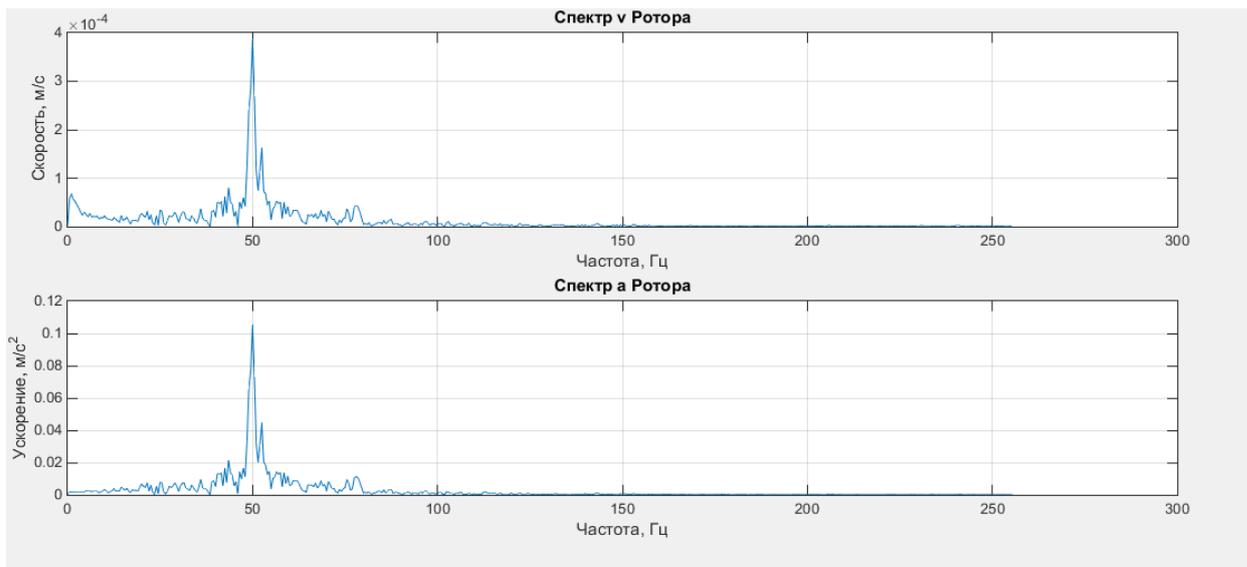


Рисунок 9. Результаты моделирования при частоте вращения 50Гц.

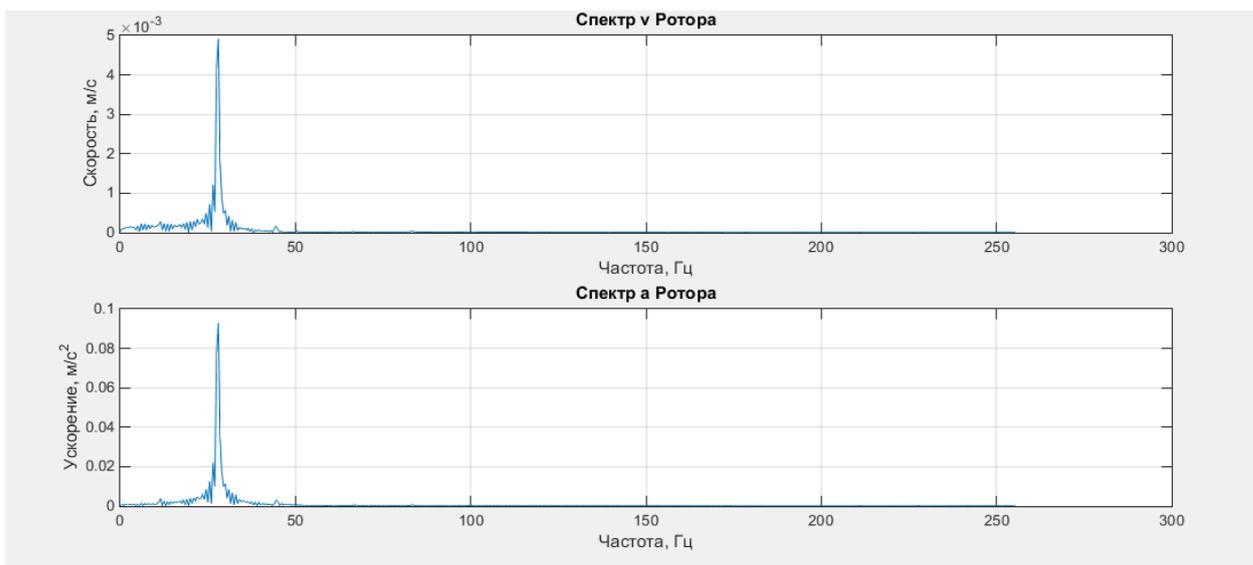


Рисунок 10. Результаты моделирования при частоте вращения 25Гц.

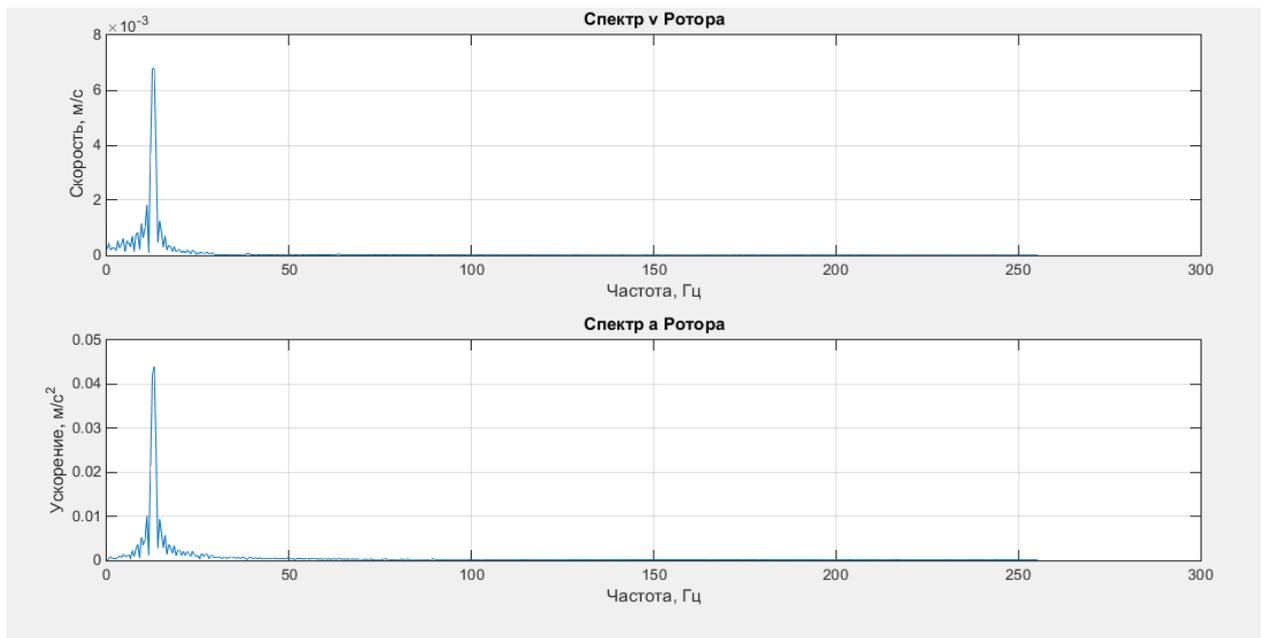


Рисунок 11. Результаты моделирования при частоте вращения 10 Гц.

Анализ модели производился моделированием работы вибрационного стенда на различных частотах вращения ротора. На рисунках 9-11 видно, как меняется частота амплитуды вибрации ротора, в зависимости от частоты вращения.

4. Экспериментальная часть

Эксперименты проводились на учебном вибрационном стенде “Диамех”. Показания измерялись виброанализатором “Агат-М”. Измерялся спектр огибающей, так как спектр показывает распределение энергии вибрации по частотам.

4.1 Неуравновешенность ротора

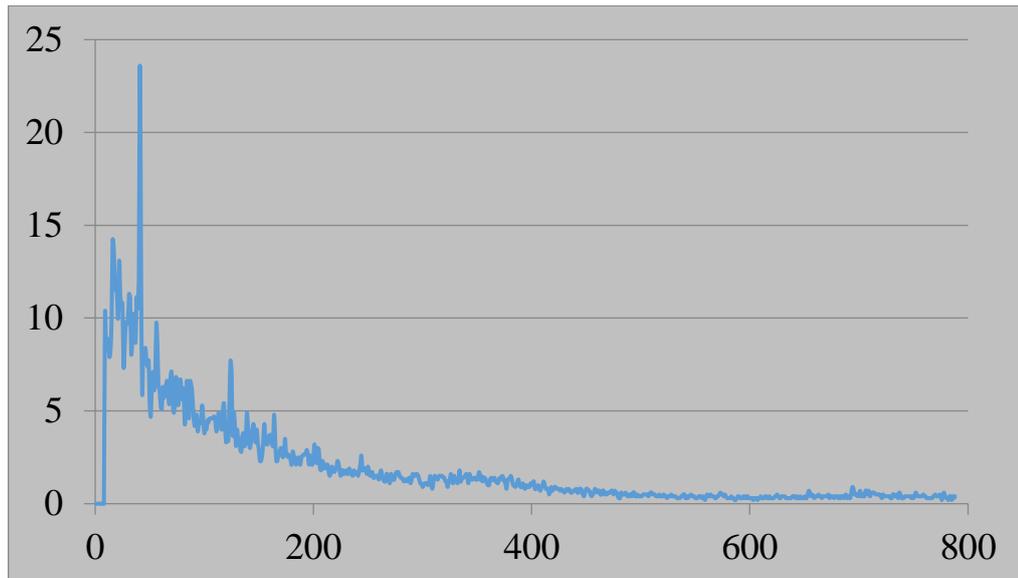


Рисунок 12. Спектр неуравновешенности ротора.

Для моделирования неуравновешенности(рисунок 12) на роторе стенда создавался дисбаланс, после снимались показания вибрации в подшипниках, в поперечном направлении. Частота максимальной амплитуды для данного графика – 50 Гц, что совпадает с частотой оборотов электродвигателя – 3000 об/мин.

4.2 Моделирование недостаточного натяга ремня

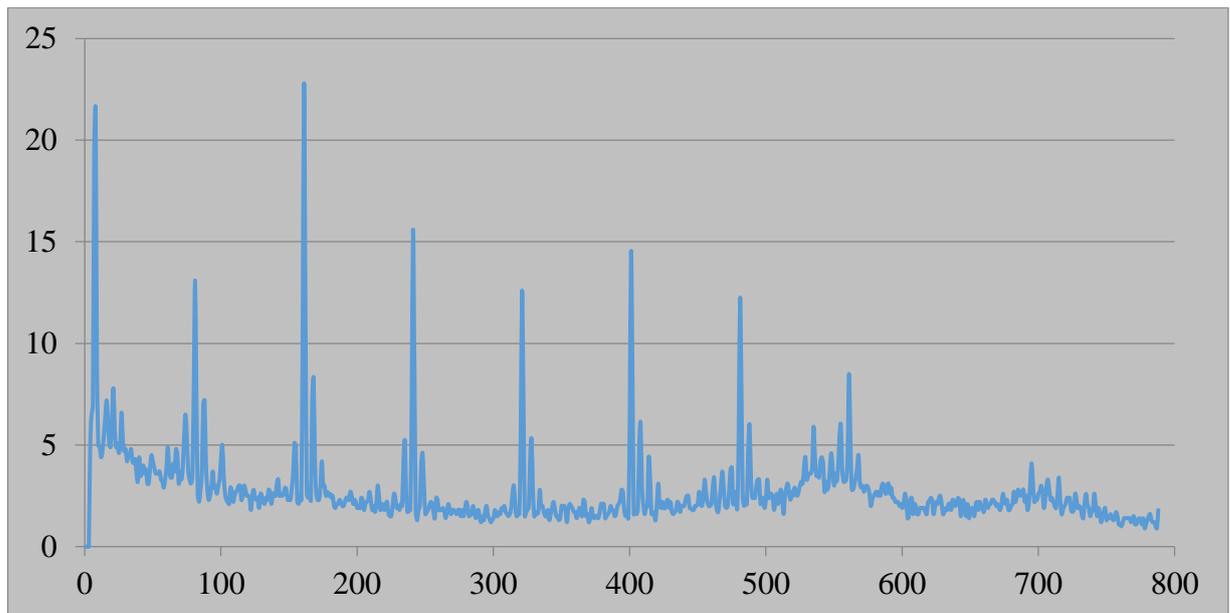


Рисунок 13. Спектр недостаточного натяжения ремня.

На спектре видно, что максимальная амплитуда находится на частоте 160 Гц. Остальные пики – гармоники и субгармоники частоты 160 Гц.

4.3 Моделирование перекоса в подшипнике

Вычисляем частоту перекатывания тел качения по внутреннему кольцу.
 $F_i = 218,8$ Гц. Теоретическое значение второй гармоники = $2F_i = 437$, Гц.

На рисунке.14 изображён спектр огибающей подшипника. Средняя красная линия показывает характерную подшипниковую частоту, которая является частотой перекатывания тел качения по внутреннему кольцу и равна $= 214,38$ Гц. Остальные красные линии показывают частоты, являющиеся боковыми гармониками. Появление боковых гармоник означает, что наблюдается процесс пространственного расширения зоны дефекта в подшипнике вдоль поверхностей качения.[6]

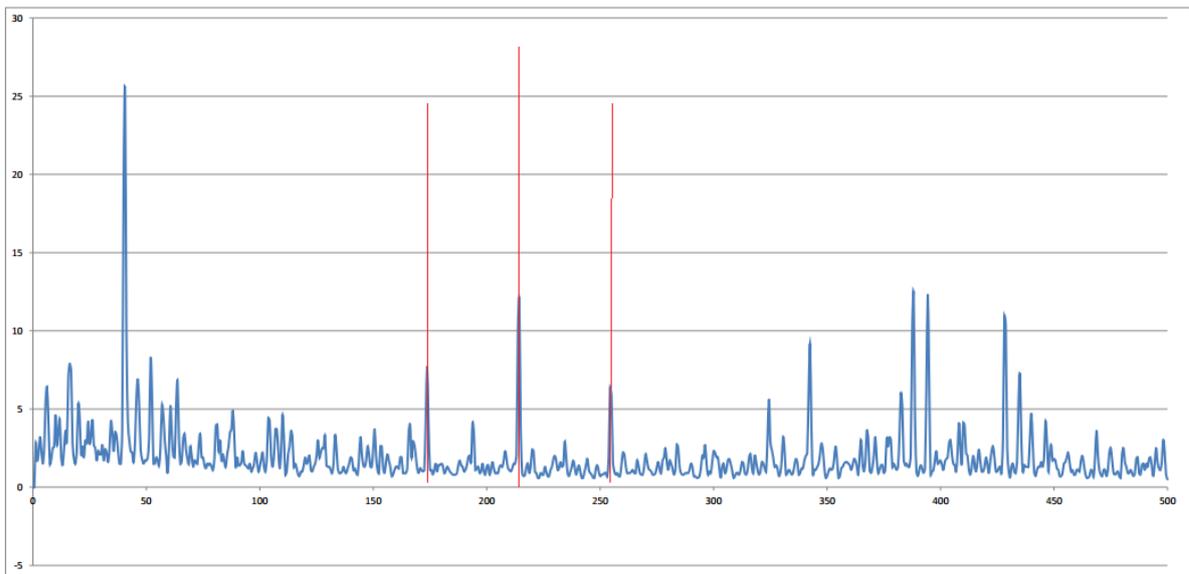


Рисунок 14. Спектр вибрации при перекосе колец подшипника. Показаны дефектная частота(214 Гц) и две боковые гармоники (173 и 255 Гц)

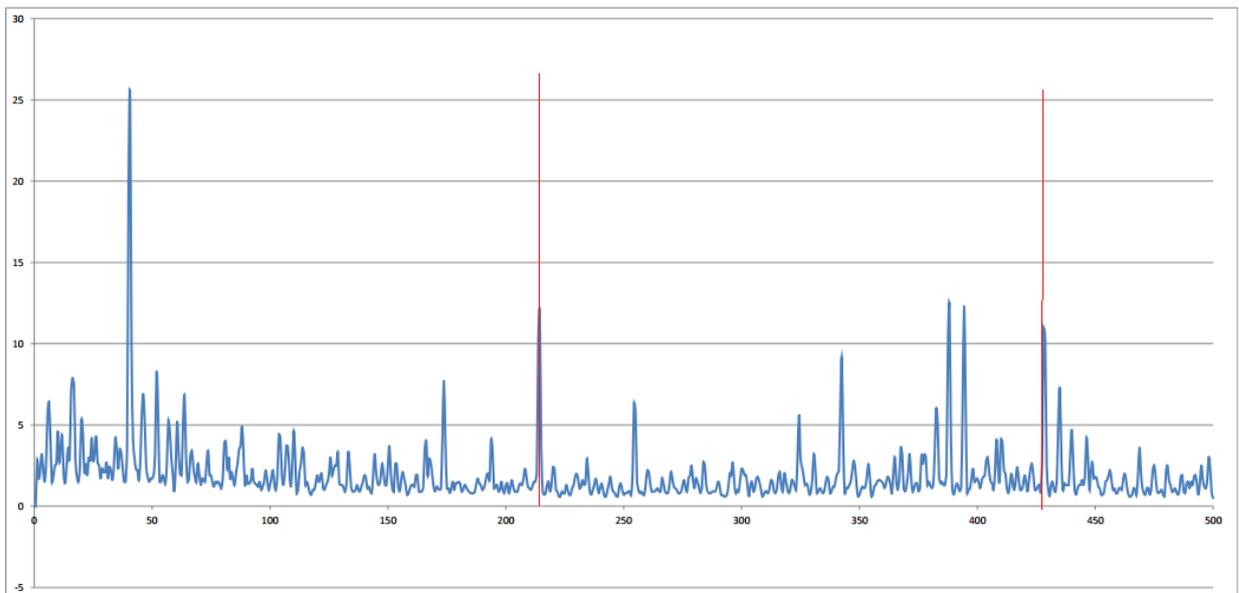


Рисунок 15. Спектр вибрации при перекосе колец подшипника. Показаны дефектная частота (214 Гц) и её гармоника (428 Гц.)

Красные линии на Рисунке.15 показывают частоту перекачивания тел качения по внутреннему кольцу(214,38 Гц) и её вторую гармонику, с частотой 428,13 Гц.

Появление на спектре гармоник подшипниковой частоты говорит именно о развитии механического ослабления, так как при такой степени развития дефекта фиксация ротора в дефектном подшипнике становится уже недостаточно точной. [7]

4.4 Моделирование дефектов в электродвигателе.

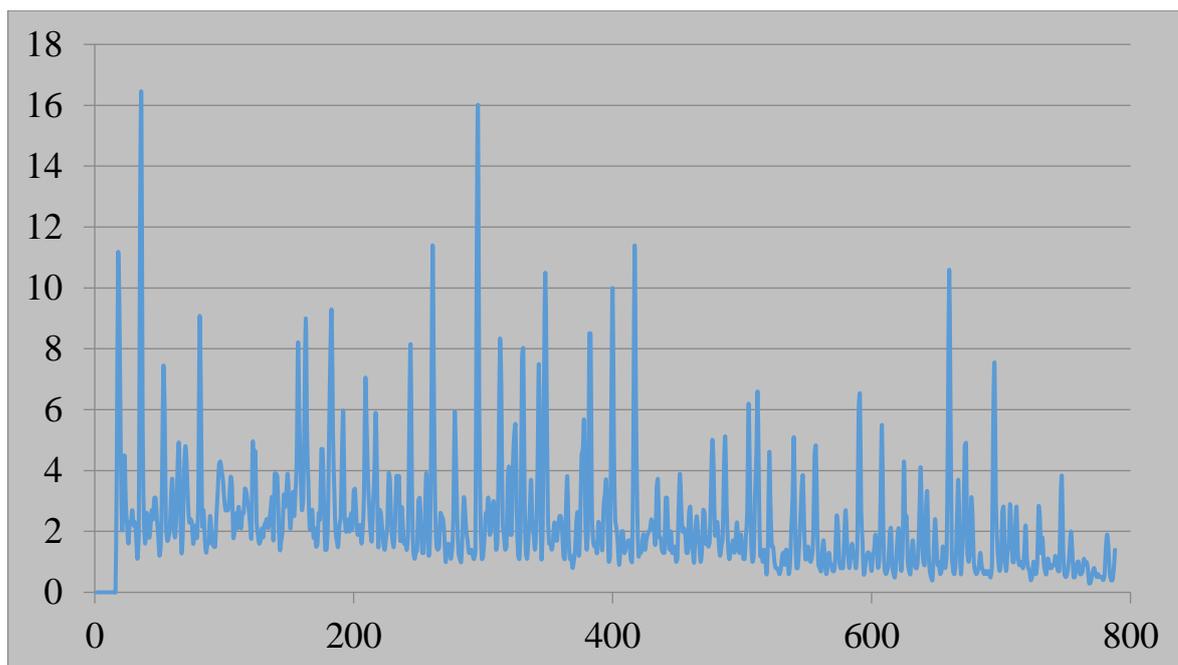


Рисунок 16. Спектр электродвигателя.

На рисунке 16 представлен спектр огибающей электродвигателя. Замеры проводились в поперечном направлении. На спектре видны частоты максимальных амплитуд – 21 и 184 Гц. Можно сделать вывод, что при развитии дефекта, эти частоты можно будет обнаружить и при измерении вибрации на подшипнике.

Таблица 1. Дефектные частоты вибрационного стенда

Дефектные частоты вибрационного стенда				
Неисправности	Тип сигнала	Основная частота, Гц	Гармоники	Примечания
1. Дефекты ротора				
1.1 Неуровновешенность ротора	Спектр	50	25,100	Формы сигнала виброперемещения и виброскорости приблизительно периодические, форма сигнала виброускорения имеет случайный характер, величина, при отсутствии других, кроме дисбаланса дефектов, превышает уровень шумовых компонент спектра на 40-50 дБ
2. Дефекты ременной передачи				
2.1 Дефекты ведомого вала и шкивов	Спектр	50		
2.2 Непараллельность валов, или смещение шкивов относительно друг друга	Спектр	200		

2.3 Дефекты ремня	Спектр	50	25,50,100,150,200	
2.4 Дефект натяжения ремня				
2.4.1 Избыточное натяжение ремня	Спектр	50		Рост СКЗ вибрации, рост температуры подшипников
2.4.2 Недостаточный натяг ремня	Спектр	50		Рост температуры шкивов
3. Дефекты подшипников				
3.1 Несоосность вала и внутреннего кольца	Спектр огибающей	214,4	438	Вибрация, вызываемая дефектами, приведёнными в этих трёх строках таблицы, проявляется на частоте ротора и её гармониках, и её весьма трудно отделить от других причин колебаний на этих частотах.
3.2 Овальность внутреннего кольца	Спектр огибающей	260		
3.3 Гранность внутреннего кольца	Спектр огибающей	130	260,390	
3.4 Неравномерный износ тел качения	Спектр огибающей	44		
3.5 Дефекты тел качения	Спектр огибающей	189		
3.6 Перекос внутреннего кольца	Спектр огибающей	109		
3.7 Перекос наружного кольца	Спектр огибающей	218		
3.8 Проблема смазки	Фон вибрации	20 дБ		Рост температуры
4. Дефекты электродвигателя				
4.1 Статический эксцентриситет зазора, дефекты статора, несимметрия напряжения питания, распушение пакетов статора		100		
4.2 Короткие замыкания в обмотках возбуждения и дефекты крепления полюсов ротора		50		Резкое падение уровня вибрации двигателя на частоте вращения ротора и зубцовой частоте при отключении питания (в начальной фазе выбега) при дефектах обмотки возбуждения или узлов крепления полюсов ротора
5. Прочие дефекты				
5.1 Неравномерный контакт плиты вибрационного стенда с поверхностью	Спектр	<50		

Также, при помощи IDE Lazarus составлена электронная версия вибродиагностической карты[10].

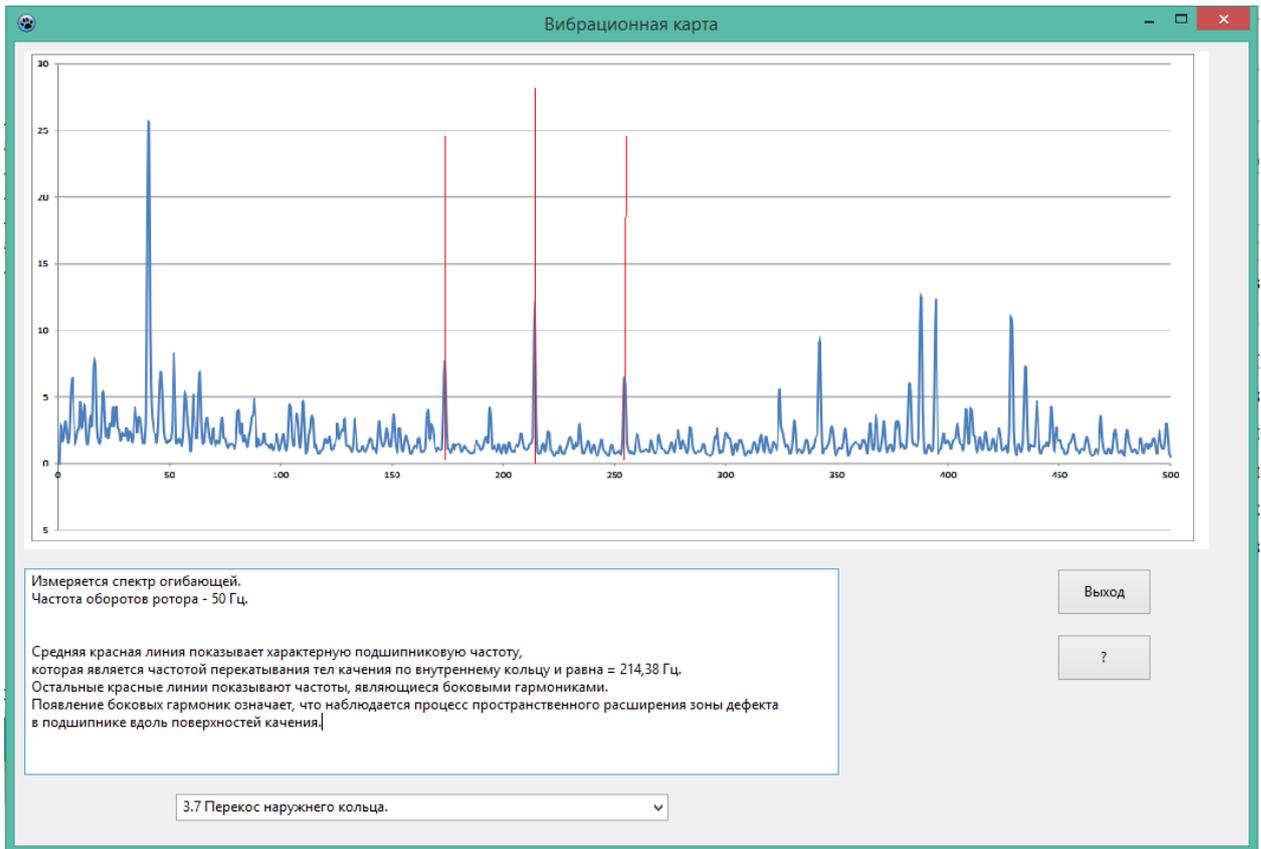


Рисунок 17. Электронная вибрационная карта.

4.5 Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был проведён анализ типовых дефектов оборудования, определяемых с помощью вибродиагностики.

Составлена математическая модель для моделирования дисбаланса. Проведены эксперименты, с помощью которых дополнены признаки дефектов оборудования.

Рассчитана стоимость создания учебного вибрационного стенда. Описаны меры безопасности при работе с данным оборудованием.

5. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Общие сведения о научном исследовании

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 (потенциала) разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований. Через такую оценку ученый может найти партнера для дальнейшего проведения научного исследования, коммерциализации результатов такого исследования и открытия бизнеса.

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, чтобы удовлетворить потребителя, каков бюджет научного проекта, сколько времени потребуется для выхода на рынок и т.д.

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

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;

- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

5.2. Предпроектный анализ

5.2.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок: машиностроительные компании и заводы.

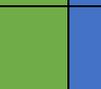
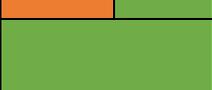
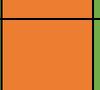
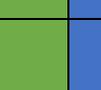
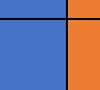
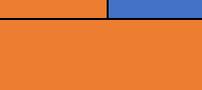
		Балансировочное оборудование						
		Учебные стенды		Балансировочные стенды		Виброизмерительное оборудование		
Размер компании	Крупные							
	Средние							
	Мелкие							

Рис. 18. Карта сегментирования рынка по использованию

амортизаторов для станков



Диамех



НТЦ БалансМаш



БалТех

По данной карте сегментирования наиболее низкая конкуренция определена для учебных стендов и виброизмерительного оборудования

предназначенного для мелких компаний.

5.2.2 Анализ конкурентных технических решений

Проводится анализ предлагаемого устройства с уже используемым устройством.

Таблица 2

*Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений
(разработок)*

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{1к}	Б _{2к}	К _{1к}	К _{2к}
1	2	3	5	6	7
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Точность	8	3	4	24	32
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	8	7	8	56	64
3. Надежность	10	4	5	40	50
4. Диапазон регулирования	10	3	5	30	50
5. Безопасность	8	7	7	56	56
6. Простота эксплуатации	10	8	9	80	90
7. Уровень шума	5	8	8	40	40
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	10	9	10	90	100
2. Уровень проникновения на рынок	7	4	5	28	35
3. Цена	8	8	6	48	64
4. Предполагаемый срок эксплуатации	8	6	5	48	40
5. Послепродажное обслуживание	4	4	4	16	16
6. Срок выхода на рынок	4	1	2	4	8
Итого	100	70	80	560	645

По оценочной карте видно, что модернизированное устройство является конкурентоспособным, так как по многим показателям превосходит своего конкурента. Главным достоинством данного устройства является его повышенная надёжность, удобство эксплуатации и увеличенный диапазон регулирования.

5.2.3 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.

Таблица 3

Матрица SWOT

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Увеличенный диапазон регулирования С2. Быстрая скорость просчета траектории. С3. Быстродействие, уменьшение времени восстановления системы. С4. Простота эксплуатации. С5. Надежность, простота обслуживания, благодаря универсальным элементам.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Более высокая себестоимость. Сл2. Трудоёмкость монтажа. Сл3. Увеличение габаритов.
Возможности: В1. Быстрое продвижение на рынок. В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Усовершенствование устройства	В1С1С2С3С4С5 – быстрое продвижение на рынок в связи с преимуществами данного устройства. В2С1С2С5- дополнительный спрос может появиться за счёт универсальности устройства. В3С2 – усовершенствование устройства за счёт его переналадки и возможности адаптации к различным станкам.	В1Сл3 – может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем. В2Сл1Сл2Сл3 – появление дополнительного спроса может быть мало из-за несовершенства устройства.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства. У2. Кризис У3. Незаинтересованность потребителей в разработке	У2С1С3С4 – возможность конкурировать в связи с хорошими показателями основных характеристик.	У1Сл1 – из-за более высокой себестоимости могут возникнуть проблемы с продажей данного устройства.

Таблица 4

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4	С5
	В1	+	+	+	+	+
	В2	+	+	-	-	+
	В3	-	+	-	-	-

Таблица 5

Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	-	-	+
	В2	+	+	+
	В3	0	0	0

Таблица 6

Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта						
Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	-	-	-	0	-
	У2	+	-	+	+	-
	У3	0	0	0	0	0

Таблица 6

Интерактивная матрица проекта

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

5.3 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Морфологический подход основан на систематическом исследовании всех теоретически возможных вариантов, вытекающих из закономерностей строения (морфологии) объекта исследования. Синтез охватывает как известные, так и новые, необычные варианты, которые при простом переборе могли быть упущены. Путем комбинирования вариантов получают большое количество различных решений, ряд которых

представляет практический интерес.

При изготовлении данного устройства возможны два варианта исполнения. Эти варианты представлены в таблице 7.

Таблица 7

Морфологическая матрица для выбора привода учебного балансировочного стенда

	1	2	
А. Вариант 1	Асинхронный двигатель	Ременная передача	
Б. Вариант 2	Асинхронный двигатель	Муфта	

А1Б1 – Исполнение 1

А2Б2 – Исполнение 2

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Таблица 8

Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб		Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление кинематической схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент
	6	Построение модели	Студент
	7	Динамический расчет	Студент
Проведение ОКР			
Разработка технологической документации	8	Разработка чертежей деталей	Студент
	9	Разработка сборочных чертежей	Студент
	10	Заполнение технологической документации	Студент
Оформление отчета	11	Заполнение пояснительной записки	Студент

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

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

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

$t_{\text{max}i}$ – 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 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

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

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

Таблица 9

Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ раб		$t_{\text{ож}}$, чел.-дн.
	б		

Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	2,8
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	5,4
	3	Проведение патентного обзора	4,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	2,4
	5	Построение расчётной схемы и математической модели	5,4
	6	Выполнение расчётов	3,4
	7	Исследование математической модели	8,8
	8	Оформление статьи	7
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	7,6
Итого:			47,6

Расчет продолжительности одной работы не является необходимым, т.к. на каждой работе задействован один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

1.4.3 Разработка графика проведения научного исследования.

Строится график проведения научного исследования в форме диаграммы Гранта.

Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (3)$$

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:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4)$$

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

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

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

Результаты расчетов приведены в табл. 10

Таблица 10

Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_p	Длительность работ в календарных днях T_k
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$			
Составление и утверждение ТЗ	2	4	2,8	Руководитель	2,8	5
Изучение материала по теме	5	6	5,4	Студент	5,4	8
Проведение патентного обзора	4	6	4,8	Студент	4,8	8
Составление принципиальной схемы	2	3	2,4	Студент	2,4	4
Построение расчётной схемы и математической модели	5	6	5,4	Студент	5,4	8
Выполнение расчётов	3	4	3,4	Студент	3,4	5
Исследование математической модели	8	10	8,8	Студент	8,8	14
Оформление статьи	5	10	7	Студент	7	11
Заполнение пояснительной записки	6	10	7,6	Студент	7,6	12

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 106 - 14} = 1,49$$

Таблица 11

Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнитель и	T _к	Продолжительность выполнения работ						
				Март	Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	5							
2	Изучение материалов по теме	Студент	8							
3	Проведение патентного обзора	Студент	8							
4	Составление кинематической схемы	Студент	4							
5	Выполнение расчетов	Студент	8							
6	Построение модели устройства	Студент	5							
7	Оформление патента	Студент	14							
8	Разработка чертежей деталей	Студент	11							
9	Разработка сборочных чертежей	Студент	12							
10	Заполнение технологической документации	Студент	16							
11	Заполнение пояснительной записки	Студент	12							

5.4.4 Расчет материальных затрат НИИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (5)$$

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

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 12

Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.	Затраты на материалы	
		Исп. 1	Исп. 2		Исп. 1	Исп. 2
Асинхронный двигатель	шт.	1	1	10000	10000	10000
Подшипник	шт.	2	2	500	1000	1000
Ротор	шт.	1	1	1000	1000	1000
Опора	шт.	4	4	500	2000	2000
Платформа	шт.	1	1	2000	2000	2000
Муфта	шт.	0	1	1500	0	1500
Управляющий блок	шт.	1	1	15000	15000	15000
Ремень	шт.	1	0	3000	3000	0
Итого расходы на материалы:					34000	32500

5.4.5 Основная заработная плата исполнителей.

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. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 13.

Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн	Зарботная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	2,8	1580,61	5057,95
2	Изучение материалов по теме	Студент	5,4	287,7	2819,46
3	Проведение патентного обзора	Студент	4,8	287,7	1093,26
4	Составление принципиальной схемы	Студент	2,4	287,7	920,64
5	Построение расчётной схемы и математической модели	Студент	5,4	287,7	920,64
6	Выполнение расчётов	Студент	3,4	287,7	2013,9
7	Исследование математической модели	Студент	8,8	287,7	2819,46
8	Оформление статьи	Студент	7	287,7	2819,46
9	Заполнение пояснительной записки	Студент	7,6	287,7	1323,42

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

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:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

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:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (8)$$

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

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 14).

Таблица 14

Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	106 14	106 14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезням	48 -	48 -
Действительный годовой фонд рабочего времени	198	198

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{30000 \cdot 10,4}{198} = 1576 \text{ руб.}$$

–заработная плата руководителя за 1 день.

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{5200 \cdot 11,2}{198} = 294 \text{ руб.} \text{ –заработная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 1576 \cdot 3 = 4728 \text{ руб. – руководитель}$$

$$Z_{\text{осн2}} = 294 \cdot 51 = 15000 \text{ руб. - студент}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 4728 + 4728 \cdot 0,2 = 5674 \text{ руб. – руководитель}$$

$$З_{зп2} = 15000 + 15000 \cdot 0,2 = 18000 \text{ руб. - студент}$$

5.4.6 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:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} \quad (9)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным $0,12 - 0,2$).

$$З_{зп1} = 4728 \cdot 0,2 = 945 \text{ руб. – руководитель}$$

$$З_{зп2} = 15000 \cdot 0,2 = 3000 \text{ руб. - студент}$$

5.4.7 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (10)$$

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

На 2016 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%¹.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме

¹ Федеральный закон от 24.07.2009 №212-ФЗ «О страховых взносах в Пенсионный фонд Российской Федерации, Фонд социального страхования Российской Федерации, Федеральный фонд обязательного медицинского страхования»

(табл. 15).

Таблица 15

Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	4728	945
Студент-дипломник	15000	3000
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого	5327+1065=6329 р.	

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (4728 + 945) = 1537 \text{ руб.} \\ \text{руководитель}$$

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (15000 + 3000) = 4878 \text{ руб.} \\ \text{студент}$$

5.4.8 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.

Данные расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками), т.е.:

1) Работы и услуги производственного характера, выполняемые сторонними предприятиями и организациями. К работам и услугам производственного характера относятся:

- выполнение отдельных операций по изготовлению продукции, обработке сырья и материалов;
- контроль за соблюдением установленных регламентов технологических и производственных процессов;
- ремонт основных производственных средств;
- поверка и аттестация измерительных приборов и оборудования, другие работы (услуги) в области метрологии и прочее.

- транспортные услуги сторонних организаций по перевозкам грузов внутри организации (перемещение сырья, материалов, инструментов, деталей, заготовок, других видов грузов с базисного (центрального) склада в цехи (отделения) и доставка готовой продукции на склады хранения, до станции (порта, пристани) отправления).

2) Работы, выполняемые другими учреждениями, предприятиями и организациями (в т.ч. находящимися на самостоятельном балансе опытными (экспериментальными) предприятиями по контрагентским (соисполнительским) договорам на создание научно-технической продукции, головным (генеральным) исполнителем которых является данная научная организация).

Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

В таблице 16 представлены исполнители операций по слесарным операциям.

Таблица 16

Исполнители операций

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
2	Инженер	6	1	2

Таблица 17

Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	заработная плата, руб.
Инженер	892,81
Отчисления во внебюджетные фонды	267,84
Итого	1160,65

$$Z_{\text{дн}} = \frac{7936 \cdot 11,2}{223} = 398,58 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 398,58 \cdot 2 = 797,16 \text{ руб.} \text{ – основная зарплата инженера}$$

$$Z_{\text{зп}} = 797,16 + 797,16 \cdot 0,12 = 892,81 \text{ руб.} \text{ – зарплата инженера}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 892,81 = 267,84 \text{ руб.} - \text{внебюджетные отчисления инженера}$$

5.4.9 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

5.4.10 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 по каждому варианту исполнения приведен в табл. 18.

Таблица 18

Расчёт бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НИИ	34000	32500	Пункт 1.4.4
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	23670	23670	Пункт 1.4.5
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	2926,78	2926,78	Пункт 1.4.6
4. Отчисления во внебюджетные фонды	6329	6329	Пункт 1.4.7
5. Контрагентские расходы	1160,65	1160,65	Пункт 1.4.8
6. Накладные расходы	10890	10650	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НИИ	78980	77240	Сумма ст. 1- 6

5.5 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 получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (12)$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{78980}{78980} = 1$$
 - интегральный финансовый показатель разработки

первого исполнения

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{77240}{78980} = 0,978$$
 - интегральный финансовый показатель

разработки второго исполнения

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (13)$$

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 19).

Таблица 19
Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	5
2. Долговечность в использовании	0,3	5	5
3. Регулировка	0,1	5	4
4. Переналадка	0,15	5	4
5. Надежность	0,15	4	4
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 5 * 0,3 + 5 * 0,3 + 5 * 0,1 + 5 * 0,15 + 4 * 0,15 = 4,85;$$

$$I_{p-исп2} = 5 * 0,3 + 5 * 0,3 + 4 * 0,1 + 4 * 0,15 + 4 * 0,15 = 4,6;$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{исп.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}^{исп.2}} \text{ и т.д.} \quad (14)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,85}{0,978} = 4,959;$$

$$I_{исп.2} = \frac{4,6}{1} = 4,6;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.20) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (15)$$

Таблица 20

Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,978	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,85	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	4,959	4,6
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=1,078	Исп2/Исп1=0,928

Из таблицы 20 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 1.

5.6. Заключение.

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был определен целевой рынок, для разрабатываемого вибрационного стенда. Проведен анализ конкурентов из

которого следует, что проектируемое устройство конкурентоспособное. Рассчитаны материальные затраты на изготовление данного устройства, затраты на основной и дополнительной зарплате, отчисления во небюджетные фонды, контрагентные расходы, накладные расходы, на основании которых составлен бюджет затрат на НИИ. Произведена сравнительная характеристика эффективности разработки на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 20 можно сделать вывод о наибольшей эффективности первого исполнения устройства.

6. Социальная ответственность

Введение

В ходе магистерской работы создаётся вибрационная карта для автоматизированного оборудования кабельного цеха.

Данный раздел ВКР предназначен для определения условий труда, выявления основных техносферных опасностей и вредностей объекта исследования, оценка степени воздействия их на человека, общество и природную среду, а также предложение методов минимизации их воздействий и защиты от них, т.о. раздел социальной ответственности направлен на обеспечение безопасности рабочего и охраны окружающей среды. Производственная среда должна соответствовать требованиям законодательных и правовых актов, технических регламентов в области безопасности производства, охраны труда и защиты окружающей среды.

В данном разделе рассматриваются:

- профессиональная социальная безопасность;
- экологическая безопасность;
- безопасность в чрезвычайных ситуациях;
- правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

6.1 Профессиональная социальная безопасность

Объект исследования: автоматизированное оборудование кабельного цеха.

Объект исследования представляет собой учебный вибрационный балансировочный стенд, позволяющий изучать балансировку роторов, использование виброанализаторов.

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Исследовательские работы: Построение математической модели на ПЭВМ Практические работы: Работы на объекте исследования	Уровень вибрации; шум микроклимат повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание; уровень статического электричества; уровень электромагнитных излучений; освещённость рабочей зоны монотонность трудового	Подвижные части производственного оборудования.	ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ ГОСТ 12.1.005-88 ГОСТ 12.1.007-76 СанПиН 2.2.4.1294-03 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 СанПиН

	процесса; нервно- эмоциональные перегрузки.		2.2.2/2.4.1340– 03 ГОСТ Р 51337- 99 СанПиН 2.2.2.542-96
--	--	--	--

Таблица 21. *Опасные и вредные факторы при выполнении работ с использованием объекта исследования при эксплуатации в условиях ЧС и при исследовании.*

При эксплуатации объекта исследования можно выделить следующие факторы производственной среды:

Уровень вибрации. Источником является сам объект исследования. Природа действия фактора - физическая. Допустимые нормы работы с вибрацией регламентируются ГОСТ 12.1.012–90 ССБТ. Регламентируемый ГОСТ уровень вибрации от 1 Дб до 12 Дб, при показателе превышения более 12 дБ запрещается проводить работы и применять машины, генерирующие такую вибрацию. При работе в диапазоне 1÷12 Дб, согласно ГОСТ, смена должна составлять 8 часов, содержать 2 перерыва длительность 20 минут после 1÷2 часов от начала смены и 30 минут через 1÷2 часа после обеденного перерыва, а также обеденный перерыв 40 минут – примерно в середине смены. Для минимизации воздействия фактора, рекомендуется использовать специальную виброзащитную одежду, в т.ч. специальную обувь. Рекомендуется система организации труда и профилактических мероприятий на предприятиях, ослабляющих неблагоприятное воздействие вибрации на человека.

Шум. Источником является объект исследования. Природа действия

фактора - физическая. Допустимые нормы работы с вибрацией регламентируются ГОСТ 12.1.003-83. При эксплуатации объекта исследования, а также при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по снижению шума, действующего на человека на рабочем месте, до значений, не превышающих 80 дБА: применением средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029-80; применением средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87. Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБА должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026-76. Работающих в этих зонах администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87. Подвижные части производственного оборудования. Источник – ротор станда. Физическая природа воздействия. Защита предусматривается техникой безопасности эксплуатации инструмента. Согласно ГОСТ 12.4.011-89 к средствам коллективной безопасности относят устройства: оградительные; автоматического контроля и сигнализации; предохранительные; дистанционного управления; тормозные; знаки безопасности.

Исследования, проводимые над объектом, сводятся к построению математических моделей его компонентов и реализации данных моделей в том или ином программном обеспечении, т.о. вредные и опасные факторы связаны с рабочим местом оборудованном ПК. При исследовании характеристик объекта выделяются следующие факторы:

Микроклимат.

Источник – рабочее место. Физическая природа воздействия. Благоприятные микроклиматические условия на производстве являются важным фактором в обеспечении высокой производительности труда и в профилактике заболеваний. При несоблюдении гигиенических норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных. Требования к микроклимату производственных помещений регламентируется СанПиН 2.2.4.548–96.

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей микроклимата необходимо соблюдать на рабочих местах производственных помещений, на которых выполняются работы операторского типа, связанные с нервно-эмоциональным напряжением (в кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и др.).

Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата определяются Санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и другими документами, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке.

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах должны соответствовать величинам, приведенным в таблице 2, применительно к выполнению работы в холодный и теплый периоды года.

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Іб (140-174)	21-23	20-24	60-40	0,1
Тёплый	Іб (140-174)	22-24	21-25	60-40	0,1

Таблица 22. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали, а также

изменения температуры воздуха в течение смены при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2°C и выходить за пределы величин, указанных в таблице 2 для отдельных категорий работ.

Средства коллективной защиты предусмотрены ГОСТ 12.4.011-89. К ним относятся средства нормализации воздушной среды производственных помещений и рабочих мест, т.е. устройства для: поддержания нормируемой величины барометрического давления; вентиляции и очистки воздуха; кондиционирования воздуха; локализации вредных факторов; отопления; автоматического контроля и сигнализации; дезодорации воздуха.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание.
Источник – электропитание и электропровода ПЭВМ. Природа воздействия – физическая, биологическая. Требования к электробезопасности производственных помещений регламентируется ГОСТ Р 12.1.019-2009. Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства: защитные оболочки; защитные ограждения (временные или стационарные); защитные барьеры; безопасное расположение токоведущих частей; изоляция токоведущих частей (основная, дополнительная, усиленная, двойная); изоляция рабочего места; малое напряжение; защитное отключение; электрическое разделение; предупредительная сигнализация, блокировки, знаки безопасности. Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, применяют следующие способы: защитное заземление; зануление; выравнивание потенциалов; защитное экранирование; систему защитных проводов; защитное отключение; изоляцию нетоковедущих частей; электрическое разделение сети; простое и защитное разделения цепей; малое напряжение; контроль изоляции; компенсацию токов замыкания на землю; электроизоляционные средства; средства индивидуальной защиты.

	ания КЕО и освещен ости (Г – горизонта льная, В – вертикаль ная) и высота плоскости надо полом, м	верхне м или комби нирова нном освеще нии	боковым освещен ии	верхне м или комби нирова нном освеще нии	боковым освещен ии	комбинир ованном освещени и		общем освеще нии	тель дискон форта, М, не более	фици ент пульс ации осве щённ ости, К_п, %, не более
						все го	от об щег о			
Помещ ения для работы с диспле ями и видеот ермина лами, залы ЭВМ	Г – 0,8; Экран монитора В-1.2	3,5 -	1,2 -	2,1 -	0,7 -	500 -	300 -	400 200	15 -	10 -

Таблица 23. Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения основных помещений общественного здания, а также сопутствующих им производственных помещений.

К средствам нормализации освещения производственных помещений и рабочих мест относятся: источники света; осветительные приборы; световые проемы; светозащитные устройства; светофильтры.

Монотонность трудового процесса. Источник – исследовательский процесс.

Природа воздействия – психофизиологическая.

Нервно-эмоциональные перегрузки. Источник – исследовательский процесс.

Природа воздействия – психофизиологическая.

Для предотвращения психофизиологического воздействия при

работе с ПЭВМ соблюдаются нормы СанПиН 2.2.2.542-96.

Для видов трудовой деятельности устанавливается 3 категории тяжести и напряженности работы с ВДТ и ПЭВМ, которые определяются: для группы А - по суммарному числу считываемых знаков за рабочую смену, но не более 60 000 знаков за смену; для группы Б - по суммарному числу считываемых или вводимых знаков за рабочую смену, но не более 40 000 знаков за смену; для группы В - по суммарному времени непосредственной работы с ВДТ и ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 часов за смену.

При работе с ВДТ и ПЭВМ в ночную смену (с 22 до 6 часов), независимо от категории и вида трудовой деятельности, продолжительность регламентированных перерывов должна увеличиваться на 60 минут.

При 8-ми часовой рабочей смене и работе на ВДТ и ПЭВМ регламентированные перерывы следует устанавливать:

- для I категории работ через 2 часа от начала рабочей смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый;
- для II категории работ через 2 часа от начала рабочей смены и через 1.5 - 2.0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый или продолжительностью 10 минут через каждый час работы;
- для III категории работ через 1.5 - 2.0 часа от начала рабочей смены и через 1.5 - 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

При 12-ти часовой рабочей смене регламентированные перерывы должны устанавливаться в первые 8 часов работы аналогично перерывам при 8-ми часовой рабочей смене, а в течение последних 4 часов работы, независимо от категории и вида работ, каждый час продолжительностью

15 минут.

Соблюдение мероприятий по защите исследователя и испытателя от вредных и опасных факторов обусловлены необходимостью снижения воздействия вредного воздействия и снижение последствий этого воздействия, а также в полной мере предотвращение любых опасных ситуаций, которые могут навредить жизни и здоровью человека.

6.2 Экологическая безопасность

Экологическая безопасность имеет огромное влияние на процесс производства и эксплуатации оборудования. Отходами объекта исследования, являются загрязнённое машинное масло, а также сам объект, после прихода в негодность. Следовательно, можно говорить только о влиянии на гидросферу и литосферу.

Защита гидросферы.

Источником загрязнения являются места хранения и транспортирования промышленной продукции и отходов производства. Основные загрязнители – масло и примесные элементы. Согласно ГН 2.1.5.1315-03 ПДК 0,3 мг/л. отработанное масло нельзя слить на простую свалку, масло через грунт попадает в подземные воды и загрязняет их. Существуют специальные компании и полигоны, которые специализированно занимаются процессом утилизации, термическим, химическим или другими путями. Также существуют способы очистки масла от примесных элементов и его повторное использование. Очистка вод осуществляется при помощи специальных фильтров, либо через процесс перекачивания с помощью насосов способствует дополнительному диспергированию частиц масла и образованию более тонкой и устойчивой эмульсии.

Защита литосферы.

Промышленные отходы 5-го класса. Основные загрязнители – компоненты объекта исследования. Сбор отходов предусматривается в специальных местах по приёму металлических объектов. Отходы рекомендуются перерабатывать. Допускается хранение отходов в отведенных для этого местах.

На машиностроительных и металлургических предприятиях при обработке и прокатке металла применяются смазочно-охлаждающие

жидкости (СОЖ), которые являются эмульсиями масла в воде. Масляные эмульсии — это коллоидные двухфазные системы, в которых одна жидкость (масло) диспергирована в виде капелек в другой жидкости (воде). Разрушению эмульсий, т. е. расслоению системы, препятствует упругая оболочка эмульгатора (органической кислоты), молекулы которого ориентированы углеводородным радикалом в сторону частицы масла, а карбоксильной группой — в сторону воды.

Для разрушения эмульсий применяют следующие методы:

- центрифугирование;
- реагентную коагуляцию;
- термический метод;
- а также их комбинацию.

Т.к. при производстве отдельных элементов будет использоваться СОЖ, которая может причинить ущерб гидросфере, следует применять переработку или утилизацию СОЖ на предприятии.

Твёрдые отходы производства имеют строго однородный характер, в виде металлической стружки, поэтому следует подобные отходы отправлять переплавку и повторное использование. Переработка стружки - трудоемкий процесс, подразумевающий под собой брикетирование или прессование стружки в компактный брикет (пакет) для наименьшего угара стружки при переплавке в сталеплавильных печах. В зависимости от стружки и ее засора используют центрифугу для отжима масла, дробилку для дробления стружки на мелкие фракции, а также брикетировочные или пакетировочные прессы для придания дробленой стружке компактного пакета (брикета) в целях удобства перевозки и плавки в печах. Помимо этого, переработанная и подготовленная для переплавки стружка на порядок дороже, чем вьюнообразная или замасленная. При образовании производства следует

обеспечить безотходность производства.

Мероприятия по защите окружающей среды обусловлены необходимостью полной утилизацией и переработки отходов производства и использования объекта исследования, для снижения воздействия человека на окружающую среды.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

С развитием техносферы возникли техногенные бедствия, источниками которых являются аварии и техногенные катастрофы. Причиной большинства техногенных аварий и катастроф является человеческий фактор.

При работе с объектом исследования, наиболее вероятны ЧС, не связанные с ним, например – применение источника энергии для питания учебного стенда в здании при пожаре. В таком случае возможно обрушение здания.

Полное или частичное внезапное обрушение здания – это чрезвычайная ситуация, возникающая по причине ошибок, допущенных при проектировании здания, отступлении от проекта при ведении строительных работ, нарушении правил монтажа, при вводе в эксплуатацию здания или отдельных его частей с крупными недоделками, при нарушении правил эксплуатации здания, а также вследствие природной или техногенной чрезвычайной ситуации.

При обнаружении, что здание теряет устойчивость необходимо незамедлительно покинуть здание. Спускаться по зданию необходимо по лестнице, а не на лифте. Оказавшись на улице следует отойти на безопасное расстояние от здания, желательно перейти на открытое пространство. При отсутствии возможности покинуть здание, следует занять наиболее безопасное место – дверные проёмы, балки каркаса, углы. Необходимо обезопасить себя от падения обломков, накрывшись крепкими вещами, такими как чугунные ванны или столы с прочными ножками. Рекомендуется отключить воду, электричество и газ. Заранее обеспечить пути ухода, открыв двери и окна, после открытия окон от них следует отойти, чтобы если они разобьются не зацепило осколками. Двигаться в полуразрушенном здании крайне опасно, поэтому следует ожидать помощи и привлекать к себе внимание криками.

Во время исследования, человек работает с ПЭВМ. Наиболее вероятная ЧС, которая может возникнуть при работе с ПЭВМ – пожар, так как в современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем, в непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода и кабели, при протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты, при этом возможно оплавление изоляции и возникновение возгорания. Возникновение других видов ЧС – маловероятно.

При пожаре весь персонал необходимо эвакуировать в самый краткий срок. В помещении должен располагаться план эвакуации. Для тушения в здании должны находиться углекислотные и порошковые огнетушители, воду можно использовать только во вспомогательных обесточенных помещениях. Помещение должно быть оборудовано пожарными извещателями, которые позволят оповестить дежурный персонал о пожаре, а также оповестят службу пожарной охраны.

Необходимость обеспечения мер безопасности обусловлено необходимостью обеспечения безопасности рабочего персонала.

6.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Процесс и условия работы с ПЭВМ регламентируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.

Согласно комментариям, к статье 251 трудового кодекса РФ, специальные правовые нормы ТК бывают 3-х видов: нормы-льготы; нормы – изъятия; нормы – приспособления.

Федеральных документов, регламентирующих различные льготы и компенсации при работе на ПЭВМ не существует. Действующее законодательство не предусматривает обязанности работодателя производить какие-либо доплаты работникам за работу на компьютере. Однако такие доплаты и льготы могут быть закреплены коллективным договором и иными локальными нормативными актами организации. Размеры компенсаций, их периодичность и иные условия выплаты устанавливаются коллективным договором, локальным нормативным актом работодателя или трудовым договором с работником (ч. 1 ст. 219 ТК РФ).

В действующих нормативных документах вредность напрямую не связана с работой на ПЭВМ. Предполагается, что администрация должна обеспечить при работе на ПЭВМ безопасные условия и при этом, естественно, в распорядке дня должны быть и гимнастические упражнения, и регламентированные в работе по СанПиН 2.2.2542-96. Если на рабочем месте с ПЭВМ обнаружено превышение каких-либо опасных и вредных факторов производственной среды, то работать на таком месте просто запрещается без всяких льгот и компенсаций.

Согласно пункту 41 раздела XLII и пункту 182 раздела XLIII ТК,

предусматривается дополнительный отпуск 6 рабочих дней сотрудникам, постоянно работающим с ПЭВМ. Постоянной работа за ПЭВМ может считаться только тогда, когда она является единственной работой персонала, определенной его должностной инструкцией и выполняется непрерывно в соответствии с регламентом осуществляемого технологического процесса. Следует учитывать, что постоянный характер работы с ПЭВМ (и никакой иной) должен быть установлен должностной инструкцией работника и регламентом технологического процесса. В случае если сотрудник имеет иные или дополнительные должностные инструкции, то постоянный характер работы считается необязательным, а, следовательно, и дополнительных дней отпуска не предусматривается.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя.

Помещения для эксплуатации ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Эксплуатация ПЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при соответствующем обосновании и наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения, выданного в установленном порядке.

Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированы на север и северо-восток.

Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Не допускается размещение мест пользователей ПЭВМ во всех образовательных и культурно-развлекательных учреждениях для детей и подростков в цокольных и подвальных помещениях.

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе электроннолучевой трубки (ЭЛТ) должна составлять не менее 6 м², в помещениях культурно-развлекательных учреждений и с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м².

При использовании ПЭВМ с ВДТ на базе ЭЛТ (без вспомогательных устройств - принтер, сканер и др.), отвечающих требованиям международных стандартов безопасности компьютеров, с продолжительностью работы менее 4-х часов в день допускается минимальная площадь 4,5 м² на одно рабочее место пользователя (взрослого и учащегося высшего профессионального образования).

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка - 0,7 - 0,8; для стен - 0,5 - 0,6; для пола - 0,3 - 0,5.

Полимерные материалы используются для внутренней отделки интерьера помещений с ПЭВМ при наличии санитарно-эпидемиологического заключения.

Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ.

6.5 Заключение

В ходе разработки, проектирования и исследования особое внимание уделяется экологическим аспектам процессов производства и эксплуатации разрабатываемому объекту, чтобы определить их степень влияния на природу и человека, а также уменьшить их насколько это возможно. Следует учитывать государственные стандарты эксплуатации тех или иных устройств и механизмов.

Разработка должна быть безопасной в использовании, надёжной и не должна быть источником ЧС.

В разделе социальной ответственности были рассмотрены основные вредные и опасные факторы при эксплуатации и исследовании учебного балансировочного стенда, представлены необходимые предельные значения этих факторов, а также средства защиты от них. Определены элементы загрязнения окружающей среды и предложены пути снижения степени загрязнения отходами или вовсе их избегания. Представлены рекомендации по действию в вероятных ЧС при применении и изучении объекта исследования, а также описаны правовые нормы исследователям объекта и рекомендации по компоновке рабочей зоны.

Источники литературы

1. Левит М.Е. и др – Балансировка деталей и узлов 1986.
2. Рагульскис К.М., А.Ю. Юркаускас – Вибрация подшипников 1985.
3. Ширман А., Соловьев А. – Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования 1996.
4. Барков А.В. Баркова Н.А., Грищенко Д.В. – Идентификация состояния механизмов с узлами вращения по результатам вибрационного мониторинга и контроля температуры. 2011.
5. Петрухин В.В., Петрухин С.В. – Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации 2010.
6. Русов В.А – Спектральная вибродиагностика 1996.
7. Русов В.А. – Диагностика дефектов вращающегося оборудования по вибрационным сигналам 2012 г.
8. Степанов А.Г. Динамика машин 1999.
9. Вейц В.Л и др Динамические расчёты приводов машин 1991.
10. Архангельский А.Я. 100 компонентов Delphi 2002

Приложение А

Раздел Английская часть

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Ермолаев А.В.		

Консультант кафедры ТМСПР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сикора Е.А.	к.т.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Куркан Н.В.			

7. Review of literature.

7.1 Review of vibration test bench.

There are a lot of Russian companies which develop, manufacture and sell the equipment for vibration control and analysis such as vibrometers, vibro-analyzers, balancing machines, vibration test benches. Also, the companies offers the training courses on the equipment application and the vibrodiagnostics..

For example, the companies “Diamech” and “Baltech” supply the training test benches to the market for the specialists in vibrodiagnostics.



Figure 1. “Proton” vibration test table of Baltech.

Consider the vibration test bench of the company "Baltech", shown in Figure 1

“PROTON” is intended for modeling processes related to the dynamic balancing of the self-retaining rotors, also for the vibrocontrol and vibrodiagnostics. In addition to the imbalance, it is possible to simulate different types of misalignment (angular and parallel) at the bench. The test bench has two correct planes for 1-5 measurement points.

The rotation speed changes smoothly with the frequency regulator in the range of up to 50 Hz (up to 3000 rpm).

Two balancing planes of have a marking with places of installation of balancing masses. Also, test bench includes the balancing weights for training.

This test bench is intended for the specialists of maintenance services in industrial enterprises, the students of universities, colleges, training centers, vocational schools, where the curriculums include the Fundamentals of Vibrodiagnostics direction.[3]



Figure 2. Machinery fault simulator by “SpectraQuest”.

There are also the foreign companies that supply the international market with the same equipment different in quality and price

For example, the American company SpectraQuest supplies to the world market with a large number of different equipment, including:

- different test benches;
- different vibrometers, vibro-analyzers;
- software.

Let's consider in detail the SpectraQuest educational vibration bench, presented in Figure 2. It was designed for the tasks similar to the ones for which the Baltech bench of the company was developed. the differences are in the available protective frame and the possibility of performing other works at the bench.

7.2 Review of typical defects

7.2.1 Rotor unbalance

The unbalance of the rotor of mechanical origin is caused by the appearance (for various reasons) of the deviations of the working geometric sizes of the rotor from the nominal constructive. When such a rotor rotates at a certain angular velocity, in each cross-section, which deviates from the nominal dimensions, a centrifugal force arises that rotates together with the rotor and causes variable loads on the supports. As for the observer, the resultant centrifugal force rotates, as well as its individual components, but for the rotor it is stationary and is a static load that can cause a significant bending.

The rotor unbalance –is a state of the mechanism in which the principal vector or principal moment of the inertial forces is not equal to zero.

The following types of the rotor unbalance are distinguished:

- static unbalance (the axis of rotation of the rotor does not coincide with the main central axis of inertia of the rotor and is parallel to it.);
- moment unbalance (the axis of rotation of the rotor intersects with the main central axis of inertia in the center of mass of the rotor);
- dynamic unbalance (the axis of rotation of the rotor and its main central axis of inertia do not intersect at the center of mass or cross.) Dynamic unbalance consists of static and moment unbalance).

The curves (waveforms) of vibration displacement and vibration velocity in the case of imbalance of the rotor and in the absence of other developed defects of the aggregate are in many cases periodic or almost periodic, with a period of oscillations corresponding to the rotor speed and have a shape close to sinusoidal form. The amplitude and phase of vibration at the rotor speed are practically stable in time. The curve (waveform) of vibration acceleration often has a more "complex" ("random") character, especially if the rotor is supported by rolling bearings.

In the amplitude spectrum of vibration, the component at the rotor speed is predominant and, in most cases, its value, in the absence of other than imbalance of defects, significantly (by two or more times) exceeds the magnitude of vibration at

its higher harmonics, and the level of the noise components of the spectrum at 40..50 dB.

7.2.2. V-belt defects

Of the main faults in the belt transmission available for detection by the simplest monitoring system of the state of vibration and temperature of the bearing units, in addition to the defects of the bearings themselves, are the following

Defects of the drive shaft or driven shaft and pulley attached to the shaft,

- the non-parallelism of the shafts or the displacement of the pulleys with respect to each other,
- Belt defects,
- belt tension defect,

To detect these belt drive defects, it is necessary to measure the vibration of the bearing assemblies of each shaft (in the radial direction to the axis of rotation of the shaft), as well as their temperature and, if possible, the temperature of the rotating pulleys. When the transmission operates in several load modes with simultaneous rotation of the speed of the drive, two or three typical modes should also be selected, measuring each and entering the frequency of rotation of the master or output shaft into the database.

With the considered defects of the belt transmission, vibration can grow in the frequency bands of a third-octave spectrum corresponding to:

- the frequency of rotation of one of the shafts (shaft defects or pulley seating),
- The second harmonic of the shaft rotation frequency (shaft non-parallelism or pulley displacements),
- belt speed and its harmonics (belt defects),

- High frequencies (excessive belt tension with bearing overload).

Excessive belt tension can lead to an increase in RMS ultrasonic vibration and an increase in the temperature of most bearings, insufficient tightness - to an increase in the temperature pulleys.

A common feature of the belt drive is the proximity of the belt speed and the bearing separator of the highest-speed transmission shaft.

Since the signs of the defects of the belt and the rolling bearings practically coincide, the growth of vibration in a one-third octave band multiples of 0.4 from the frequency of the rotation of the drive shaft may not be a sufficient indication of a belt defect.

It is necessary to carry out an independent analysis of the signs of bearing defects, especially in the field of high-frequency vibration, for several points of vibration control of the transmission and to identify the defect of the belt if the signs are present in several (at least two)

7.2.3 Defects of rolling bearings

Typical defects of rolling bearings, available for identification for deep diagnosis and long-term prediction of the bearing condition, can be divided into five different groups:

- overloading of rolling surfaces,
- wear (uniform) rolling surfaces,
- Defects of rolling surfaces (uneven wear, chips, shells, cracks in the outer and inner rings, rolling bodies),
- Defects of sliding surfaces (wear, cracks in the separator and protective washers)
- Lubricant defects.

Experience in the operation of the equipment shows that if a defect-free bearing is mounted on the unit, the main causes of its failure are distributed approximately as follows: 40% - lubrication disorders, 30% - assembly and installation violations, 20% - improper application, increased vibration, etc. And only 10% - natural wear and tear.

The components of vibration of different frequencies:

- Low-frequency vibration, which is dangerous for humans and reduces the life of the mechanisms (the typical frequency range is up to 300-500 Hz), is normalized by VHF vibro-displacement or vibration velocity to a frequency of 1000 Hz (transmitted from the source of vibrational forces to any node of the mechanism)

- medium-frequency vibration (typical frequency range from 300-500 Hz to 3-5 kHz), spreads from the source of vibrational forces to the points of its control with increasing losses with frequency and is a source of dangerous for human airborne noise mechanism (the noise of the mechanism is normalized to 10 kHz)

- high-frequency vibration (typical frequency range from 3-5kHz to 15-20kHz), rapidly damped on the contact surfaces between the nodes of the mechanism, usually contains detailed information on the frictional forces in the monitored unit or pressure pulsations in the liquid (gas) flow transmitted to the mechanism body .

- ultrasonic vibration (above 15-20 kHz), excited by mechanical contact of friction surfaces with a rupture of the oil layer, characterizes the quality of its functioning, during propagation, a significant part of the ultrasonic vibration is reflected from the contact surfaces between the nodes of the mechanism.

Identification of defects of the rolling bearing can be carried out by low-frequency and mid-frequency vibration of the bearing assembly (by the growth of the corresponding rows of bearing components in its spectrum), high-frequency vibration of the unit (frequency of periodic modulation of the frictional forces in the bearing) and ultrasonic vibration (by the periodicity of the shock pulses, Arising at ruptures of an oil film).

The first task of identifying bearing defects by measuring the simplest

monitoring system is to compare one-third octave vibration spectra and high-frequency and / or ultrasonic vibration parameters (VHF and Peak) with thresholds.

If the thresholds of the RMS or the Peak of ultrasonic vibration are exceeded in only one bearing assembly, the bearing defect is most likely in this node, and if the threshold exceeds the node temperature, the defect presents a real danger/

If in addition to the growth of ultrasonic vibration there is growth in at least one of a third of the octave at medium frequencies (usually starting from 1-2 kHz) and there is no significant growth in vibration in the same third of the octave at other nodes of the mechanism, the bearing defect is dangerous even in the absence of a temperature rise defective node.

These signs of bearing defect also apply to defects in the rolling surfaces, and to sliding surfaces, and to lubrication defects. The high-frequency vibration is not greatly affected by defects in the form of overloading of the rolling surfaces and uniform wear of the bearings.

A lubricant defect is not only the cause of many bearing defects, but also the consequence of almost any developed defect, since at a certain stage of development all defects become a source of wear products, leading to a deterioration in the composition of the lubricant. Therefore, monitoring the condition of the bearing must begin with the monitoring of the condition of the lubricant.

The main vibration indication of lubricant defects (including due to defects in friction surfaces) in rolling bearings is the growth of high-frequency and ultrasonic vibrations of bearing assemblies, in which the monitored parameters exceed the set threshold values. At the initial stages of the development of the lubricant defect, the peak of ultrasonic vibration primarily grows.

The rise in temperature of a single bearing assembly without the accompanying growth of its ultrasonic vibration is most often the result of an excess of lubrication in the bearing. In addition, due to the presence of natural and minor unevennesses in the rolling surfaces of the bearing, pushing the grease generally results in an increase in the mid-frequency vibration of the bearing assembly, and this overload characteristic must also be taken into account.

7.2.4 Defects of the electromagnetic system of electric motors

In electric machines there are two main types of excitation forces of electromagnetic origin:

- radial forces arising from temporal and spatial variations of the magnetic field in the air gap between the rotor and the stator;
- tangential forces arising from the interaction of the magnetic field with the linear current load of the machine.

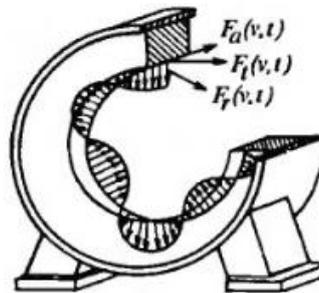


Figure 1. The effect of disturbing magnetic forces (radial F_r , tangential F_t and axial F_a) on the stator of an electrical machine

Axial forces cause periodic ruffling and contraction of the packets of the electric steel's charge steel, accompanied in some cases by a high-pitched noise. The qualitative fixing of steel packages, reliable crimping and compression by their end rings can ensure the monolithicity of the core and thereby virtually eliminate the influence of axial magnetic forces.

The radial force is created only by the short-circuiting ring of the rotor and its mirror image. In this case, the radial force acting on the stator winding is always directed outward, and the radial force acting on the rotor winding is inward. The direction of the axial forces can not be established in advance. It depends on the position of the short-circuiting ring of the rotor.

Tangential force creates a torque that is numerically equal to the torque on the motor shaft.

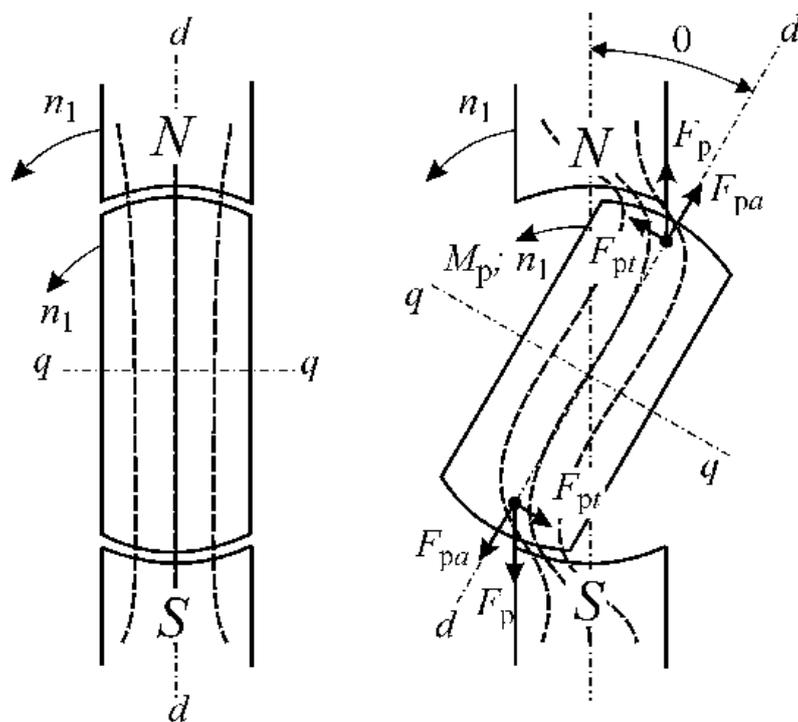


Рис. 2

Figure 2. Direction of forces in the rotating magnetic field of the stator of the electric motor.

F_{pa} - radial force;

F_{pt} - tangential force.

The nature of these forces is determined by the change in the MDS of the windings and the magnetic conductivity of the air gap of the machines, i.e. Induction of the magnetic field and a linear current load in the machine windings. Sources of electromagnetic forces are distributed in space and do not have a specific application point.

The main defects of the electromagnetic system affecting the vibration of a synchronous electrical machine (when feeding a symmetric sinusoidal voltage in the engine mode or in the absence of unbalance and nonlinear load in the generator mode) include:

stator defects (breakages, short circuits in the stator windings and in the active core),

- rotor defects (breaks and shorts in the DC winding, pole fixing faults),
- changes in the shape of the gap between the poles and the stator (static and

rotating eccentricities),

- dehumidification of active packages of the stator core of large electric machines.

The gaps in synchronous machines are much larger than the gaps in asynchronous motors, their eccentricities in relative units are usually small and the effect of the machine is practically unaffected.

The exception is static eccentricity in large machines in which the stator and the rotor are attached to the foundation independently of each other .

In synchronous electric machines, the most critical changes in vibration with defects in the electromagnetic system can occur at the rotor speed, on even harmonics of the supply voltage and at the tooth frequencies (multiples of the product of the rotational speed by $3/2$ from the number of rotor teeth in implicit-pole machines or the rotational speed by the number of stator teeth in explicitly polar machines). All other changes in the parameters of the electromagnetic system are extremely difficult to be identified by a third octave spectrum of vibration.

The following groups of defects can be identified from the detected changes in these components of vibration of synchronous electric machines:

- static gap eccentricity, stator defects, unbalance of supply voltage, stator package bursting - by vibration growth at double frequency of supply voltage,

- Short circuits in the excitation windings and rotor pole fixing defects (rotating eccentricity of the gap) - by simultaneous growth of vibration at the frequency of rotation and at the tooth frequencies,

- Partial magnetic saturation of the active core of the machine and non-linear voltage distortions - according to the growth of vibration at the sixth harmonic of the supply voltage.

For the more detailed identification of some defects of a synchronous electric machine, you can use the following features:

- The increase in low-frequency vibration of the stator of the electric machine, mainly in the tangential direction with stator defects, in case of problems with the

supply voltage of the motor or with the output voltage of the generator due to unbalance or nonlinearity of the connected load, as well as for magnetic saturation of the active core:

- the a sharp drop in the vibration level of the engine at the rotor speed and the tooth frequency when the power is cut off (in the initial phase of the run-out) with defects in the field winding or the rotor pole attachment points,

- the local (in the defect zone) heating the motor housing with short-circuited turns in the winding or stator core,

- the growth of vibration of the defective stator package at the double frequency of the power current and its harmonics upon the bursting of the active core of this package.

7.3 Conclusion

This chapter provides an overview of the training balancing stands and presents typical malfunctions that will be considered by the author of the work.

Based on the analysis carried out, the following conclusions can be drawn and the research tasks set:

1. As a result of the analysis of the imbalance of the rotor, it was found out that its main diagnostic feature is a high amplitude on the reverse frequency.
2. Analysis of the belt defects showed that due to the similarity of the signs of the belt defects with the signs of bearing defects, it is necessary to separate the components of the vibration of the bearings from the vibrations of the belt.
3. Analysis of faults in bearings has shown that it is necessary to measure the envelope spectrum, to monitor the peaks at the frequencies of the inner and outer rings.
4. Analysis of defects in the electromagnetic system of the electric motor has shown that additional features, such as an increase in the temperature on the motor casing, a drop in the amplitude at the frequency of rotation when the power is turned off, and the growth of low-frequency vibration should be used to determine the defects.