

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
Отделение материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка методики вибрационного входного контроля подшипников качения <u>УДК 621.822.6:620.178.53</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Зуев Александр Витальевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН	Хапёрская А.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Крауиньш Петр Янович	д.т.н.		

Томск – 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

по основной образовательной программе подготовки бакалавров

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»,

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>нового</i> технологического оборудования и его эксплуатации.	Требования ФГОС ВО (ПК-19, 20) ¹ , Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения	Требования ФГОС ВО (ПК-16, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<i>Разрабатывать и проектировать</i> новое оборудование и технологические машины и использовать <i>новое</i> оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5, 23, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, нано	Требования ФГОС ВО (ПК-21, 24, ОК-4, 6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями

	технологий.	международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 2, 4, 14, 15, 25), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), 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>иностраннным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ПК-7, ОК-9), 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 (ПК-6, 17, 18, ОК-10), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 5), Критерий 5 АИОР (2.6), 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»**

Школа Новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств
Отделение школы Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Крауиньш
П.Я.
(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
8НМ61	Зуеву Александру Витальевичу

Тема работы:

Разработка методики вибрационного входного контроля подшипников качения

Утверждена приказом директора (дата, номер)

От 20.03.18 г. №1974/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

31.05.18 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Подшипник качения 210. Радиальная нагрузка 0Н. Частота вращения ротора 1800 об/мин. Осевая нагрузка 150 Н. Дефекты тел качения: точечные, X-образный. Дефекты колец подшипника: точечные. Смоделировать не менее 5 дефектов
---------------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор по теме исследования 2. Постановка задач исследования 3. Планирование разделов по диссертации 4. Решение поставленных задач 5. Проработка разделов диссертации 6. Оформление диссертации 7. Подготовка презентации
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Ресурсоэффективность и Финансовый менеджмент	Хаперская Алена Васильевна
Иностранный язык	Степура Светлана Николаевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	21.04.2017
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Сикора Евгений Александрович	к.т.н		21.04.2017

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Зуев Александр Витальевич		21.04.2017

Реферат:

Выпускная квалификационная работа содержит пояснительную записку, содержащую 127 страниц, включает 43 рисунка, 55 таблиц, 3 приложения.

Ключевые слова: подшипник качения, 1/3 октановый фильтр, спектр огибающей, тело качения, полосовой фильтр, вибросигнал.

Объектом исследования является дефект подшипника качения, возникающий в результате эксплуатации.

Предметом исследования является воздействие дефекта на работу подшипника, проявляющееся в спектре огибающей сигнала.

Основной целью работы является разработка методов определения вида и уровня дефекта подшипника качения.

Научная новизна работы: выявлены диагностические признаки дефектов подшипников качения, определяющие уровень их развития и количество.

Практическая значимость: полученные данные применяются в работе «Сибирского центра вибродиагностики и балансировки» расположенного на базе ТПУ.

Магистерская диссертация выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010. При создании схем использовался продукт компании «Аскон» «КОМПАС -3D V13».

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.002-80 ССБТ Термины и определения.
2. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования»
4. ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность»
5. ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты рабочих»
6. ГОСТ 27487-87 «Электрооборудование производственных машин».
7. ГОСТ 31109-82 Основные определения
8. ПОТ Р О-95120-001-94. Правила охраны труда на предприятиях розничной торговли.
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы"
10. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы
11. СН 2.2.4/2.1.8.556-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий
12. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»

В настоящей работе используются следующие сокращения и определения:

ПК – подшипник качения.

СанПиН - санитарные правила и нормы;

ЭЛТ - монитор на основе электронно-лучевой трубки;

ЭВМ - электронно-вычислительная машина;

ПВЭМ - персональные компьютеры серии ЕС (единой системы) ;

ПДК - предельно допустимая концентрация;

ЧС - чрезвычайные ситуации;

СОДЕРЖАНИЕ

Реферат:	6
ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	7
ВВЕДЕНИЕ	11
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1. ЧАСТОТЫ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ	12
1.2. СПЕКТР ОГИБАЮЩЕЙ	13
1.3. 1/3-ОКТАВНЫЙ ФИЛЬТР	16
1.4. ЖЕСТКОСТЬ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ	18
ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ	21
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ	22
2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ	22
2.2. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ-РЕШАТЕЛЯ	25
2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ	27
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ	31
3. ЭКСПЕРИМЕНТ	33
3.1. ВЫБОР 1/3-ОКТАВНОГО ФИЛЬТРА	33
3.2. НАСТРОЙКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ	36
3.3. ОЦЕНКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ	37
3.3.1. Методика выполнения измерений МВИ ВНИПП.002-04	37
3.3.2. Спектр огибающей	38
3.4. ВЫЯВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ	41
3.5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	44
3.5.1. Дефект тела качения	46
3.5.2. Дефект внутреннего кольца	59
3.5.3. Дефект наружного кольца	64
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ	70
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	71
4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	72
4.2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	72

4.3. АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЯ	73
4.4. Структура работ в рамках научного исследования	80
4.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	81
4.6. РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	83
4.7. РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НТИ	86
4.8. ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ.	87
4.9. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ТЕМЫ.....	89
4.10. ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ (СТРАХОВЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ)	90
4.11. ОПЛАТА РАБОТ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ СТОРОННИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ И ПРЕДПРИЯТИЯМИ.	91
4.12. НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ	92
4.13. ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ЗАТРАТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА	92
4.14. РЕЕСТР РИСКА ПРОЕКТОВ	93
4.15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	94
4.16. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	97
5.1. ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	99
5.2 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	104
5.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.	105
5.4. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	111
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	112
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.	114
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ 210.125	
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.	127

ВВЕДЕНИЕ

Подшипники качения, являются одними из самых распространенных элементов механических систем, определяющих их эксплуатационные показатели, в том числе надежность, и часто выход из строя подшипника приводит к появлению аварийных отказов. В связи с этим на сегодняшний день повышение ресурса работы и надежности подшипников является актуальной задачей. Поэтому возникает проблема диагностирования подшипников, которое включает в себя поиск дефектов, входной контроль и прогнозирование технического состояния.

Техническое состояние ПК определяется рядом совместно влияющих факторов. К таким фактам относятся качество изготовления и сборки деталей ПК, эффективность системы смазывания, условия и режимы эксплуатации в применяемом изделии. Огромное влияние на состояние подшипника оказывают внутренние параметры такие как: шероховатость, отклонения расположения и формы. Данные факторы создают дополнительные вибрации, биения, приводят к неблагоприятному распределению нагрузки, изменяются условия смазывания, и в итоге снижается долговечность подшипника.

Так как влияние вибрации приводит к быстрому выходу из строя подшипников качения. Для диагностики необходимо располагать методикой, которая будет проста и понятна в применении. Основной целью работы является разработка методов определения вида и уровня дефекта подшипника качения.

Для достижения основной цели магистерской диссертации поставлены следующие задачи.

1. Провести анализ существующих методик входного вибрационного контроля подшипников качения.
2. Разработать математическую модель и провести её анализ.
3. Провести ряд экспериментов и проанализировать полученные результаты.
4. Рассчитать ресурсоэффективность и ресурсосбережение данного вида исследования.
5. рассмотреть вопросы, связанные с производственной и экологической безопасностью.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. ЧАСТОТЫ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВ

При работе подшипника в вибросигнале появляются характерные составляющие, гармоники, с частотами, по которым выявляются дефекты. Численные значения частот этих составляющих зависят от соотношения геометрических размеров подшипника и частоты вращения ротора механизма.

В нагруженном подшипнике дифференцируют четыре основные применяемые для диагностики частоты – частота вращения сепаратора f_{cen} , частота вращения тел качения f_{mk} , частоты перекатывания тел качения по дефектам наружного $f_{нар}$ и внутреннего $f_{вн}$ колец:

$$\begin{aligned} f_{cen} &= \frac{1}{2} f_{sp} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right), \\ f_{mk} &= \frac{1}{2} f_{sp} \frac{D}{d} \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \cos^2 \alpha \right), \\ f_{нар} &= z \frac{1}{2} f_{sp} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right), \\ f_{вн} &= z \frac{1}{2} f_{sp} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha \right), \end{aligned} \tag{1.1}$$

где f_{sp} – частота вращения ротора (внутреннего кольца),

z – количество тел качения в одном ряду подшипника,

D – средний диаметр сепаратора,

d – диаметр тел качения,

α – номинальный угол контакта тела качения с кольцами.

Для того, чтобы при наличии явного дефекта в вибросигнале, а, следовательно, и на полученном в результате его обработки спектре, были достоверно выявлены гармоники с этими характерными частотами, необходимо выполнение ряда требований[1]:

- подшипник должен быть нагружен достаточным усилием, близким к номинальному;
- дефектная зона должна периодически проходить через зону нагрузки подшипника;
- в механизме не должно быть других источников вибросигналов с частотой, равной частоте дефектов;
- вибродатчик должен быть расположен достаточно близко к нагруженной зоне подшипника;
- частотные параметры датчика должны соответствовать рабочим параметрам механизма;

- регистратор вибросигналов должен обеспечивать, после обработки, получение спектра вибросигнала с разрешением не менее 0,5 Гц.

Сложным так же является вопрос определения уровня развития зарегистрированного дефекта по амплитудам или иным параметрам гармоник характерных подшипниковых частот. В большой степени он зависит от типа используемой аппаратуры и места установки вибродатчика, например, дефект внутренней обоймы менее заметен, чем дефект внешней обоймы.

Определение критического уровня дефекта подшипника (степени развития дефекта в %) увеличивает трудоемкость диагностики.

Дополнительная информация:

- Все подшипниковые частоты обычно модулируются частотой вращения ротора, что приводит к возникновению вокруг них характерных боковых гармоник. По мере углубления дефекта число боковых гармоник растет. Дополнительная мощность вибрации от дефекта оказывается сосредоточенной не в основной гармонике дефекта, а вокруг нее, причем в достаточно широком диапазоне частот.
- Достаточно часто бывает, что реальные частоты характерных гармоник от отдельных элементов подшипника не соответствуют рассчитанным значениям, причем по мере углубления дефектов — это отличие растет.
- Чаще всего при значительных степенях развития дефектов на спектре возникают "энергетические горбы" – участки с общим поднятием уровня, имеющие большое количество случайных пиков. Такие "горбы" могут возникнуть как вблизи характерной частоты, так и вблизи частоты резонанса конструкции или ее отдельного элемента. Часто "энергетический горб" бывает в двух местах спектра, и на характерной частоте, и на резонансной. Достаточно часто, при развитом дефекте, характерная частота, вокруг которой появился и вырос "энергетический горб", на спектре отсутствует. Иногда число "горбов" может быть три или даже больше.

1.2. СПЕКТР ОГИБАЮЩЕЙ

Метод диагностики состояния оборудования при помощи спектров огибающей вибросигнала получил широкое прикладное применение для ранней диагностики подшипников качения. Для определения наличия дефекта подшипника необходимо воспользоваться спектром огибающей модулированного сигнала.

Модуляция – это процесс преобразования одного или нескольких параметров несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями информационного сигнала. Модуляция бывает амплитудной, частотной и фазовой.

Глубина модуляция M в %:

$$M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

где A_{\max} – максимальное значение амплитуды,

A_{\min} – минимальное значение амплитуды.

Частоту перекачивания тел качения по дефектам внутреннего кольца можно увидеть только на спектре огибающей высокочастотного сигнала. Таким образом, на спектре вибрационного сигнала увидеть эту частоту сложно или невозможно из-за шумовой подложки. В спектре огибающей видны модулированные частоты (разности).

Для спектра огибающей необходимо рассматривать гармоники, которых достаточно (в количестве не более) семи для заключения о наличии или отсутствии дефекта в ПК.

Диагностический признак модуляции:

- чем больше глубина модуляции, тем больше деградация машины;
- если амплитудная модуляция 15% и больше – это дефект ПК.

Дефекты подшипников качения имеют индивидуальные диагностические признаки (табл. 1.1). В столбце «Тип сигнала» указывается параметр, при помощи которого наиболее эффективно проводить диагностику каждого дефекта. В столбце «Основная частота» указывается или частота вращения ротора $f_{вр}$, или основные подшипниковые частоты $f_{сеп}$, $f_{тк}$, $f_{нар}$, $f_{вн}$. В следующем столбце указывается, на какие гармоники от основной частоты следует обращать внимание. И в последнем столбце «Порог» указывается уровень модуляции вибрационного сигнала основной диагностической гармоникой. Этот параметр рассчитывается по стандартным формулам обработки сигналов, которые следует взять из теории анализа модулированных радиосигналов.

Табл. 1.1. Диагностические признаки дефектов подшипников качения

№ п/п	Дефект подшипника	Тип сигнала	Основная частота	Гармоники	Пороговое значение
1. Проблемы монтажа подшипников качения					
1.1	Перекас наружного кольца при посадке	Спектр + огибающая	$2 \cdot f_{нар}$	-	16 %
1.2	Неоднородный радиальный натяг	Спектр + огибающая	$k \cdot f_{вр}$	$k = 1; 2$	13 %
1.3	Проскальзывание в посадочном	Огибающая	$k \cdot f_{вр}$	$k = 1; 2; 3$	9 %

	месте				
1.4	Ослабление крепления подшипника	Спектр	$k \cdot f_{вр}$	$k = 0,5; 1; 2; 3$	13 %
1.5	Задевания в подшипнике и уплотнениях	Спектр	$k \cdot f_{вр}$	$k = 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$	13 %
1.6	Обкатывание наружного кольца	Спектр + огибающая	$f_{вр}$	-	16 %
2. Проблемы смазки					
2.1	Проблемы смазки	Фон вибрации	-	-	20 dB
3. Проблемы износа подшипников качения					
3.1	Увеличенные зазоры в подшипнике	Спектр	$k \cdot f_{вр}$	$k = 1, 2, 3...$	13 %
3.2	Износ поверхности наружного кольца	Огибающая	$f_{нар}$	-	16 %
3.3	Износ поверхности тел качения	Огибающая	$f_{сеп}$ или $f_{вр} - f_{сеп}$	-	15 %
3.4	Износ поверхности внутреннего кольца	Огибающая	$k \cdot f_{вр}$	$k = 1, 2, 3...$	13 %
3.5	Дефект группы поверхностей трения	Огибающая	$f_{нар} + f_{вн},$ $f_{нар} + f_{вр}$	-	16 %
4. Критические дефекты подшипников качения					
4.1	Раковины (сколы) на наружном кольце	Огибающая	$k \cdot f_{нар}$	$k = 1,2,3$	16 %
4.2	Раковины (сколы) на внутреннем кольце	Огибающая	$k \cdot f_{вн}$	$k = 1,2,3$	15 %
4.3	Раковины (сколы) на телах качения	Огибающая	$k \cdot f_{тк}$	$k = 1,2,3$	15 %

1.3. 1/3-ОКТАВНЫЙ ФИЛЬТР

Для контроля вибрации механизмов, у которых изменяется частота вращения от измерения к измерению, применяют широкополосные спектры вибрации (октавные и дольоктавные). В таких спектрах, для отображения величины составляющей сигнала, а также номера октавы, для отображения ее частоты, используют ось координат, в которой по осям откладываются логарифмические единицы измерения – дБ. Для удобства сравнения дольоктавных спектров с разной относительной шириной (октавные, 1/3-октавные, 1/6-октавные и т.д.) стандартизуют не номера полос, а их средние частоты в Герцах[].

Граничные частоты полос дольоктавных спектров определяются соотношением:

$$f_0 = \sqrt{f_H \cdot f_B}, \quad (1.3)$$

где f_0 – средняя геометрическая частота, f_H – нижняя граничная частота, f_B – верхняя граничная частота.

Верхняя и нижняя граничные частоты каждой полосы третьоктавного спектра связаны соотношением:

$$f_H = 2^{1/3} \cdot f_B \quad (1.4)$$

То есть их граничные частоты отличаются на одну треть октавы. При этом ширина полосы третьоктавного фильтра равняется 23% от его средней геометрической частоты. Это означает, что частотная полоса тем шире, чем выше средняя частота, но в логарифмическом представлении ширина полос одинакова (см. рис.)

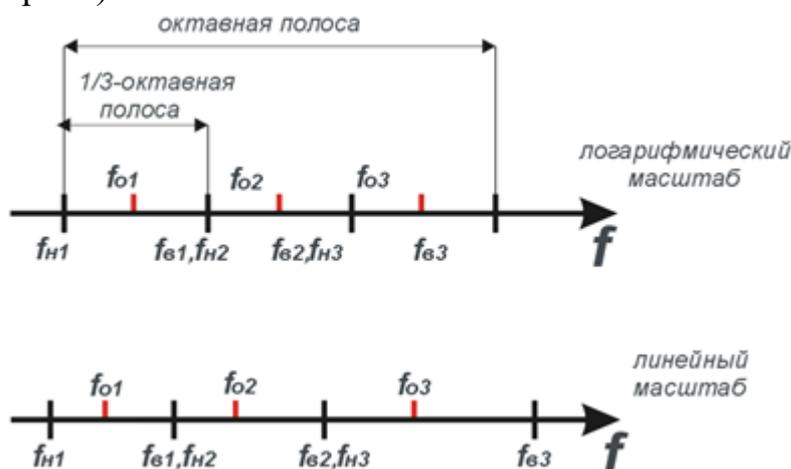


Рисунок 1.1. Характерные частоты третьоктавных фильтров.

Из акустики берется базовая средняя геометрическая частота равная 1000 Гц, на данной частоте чувствительность органов слуха человека считается максимальной. От нее в обе стороны по частоте происходит отсчет среднегеометрических частот октавных полос, а от них в свою очередь отсчет дольоктавных среднегеометрических частот.

На рисунке 1.1 показан сигнал, измеренный на опоре, в которой установлен подшипник с дефектом наружного и внутреннего колец. На рисунке 1.2 приведен спектр этого сигнала.

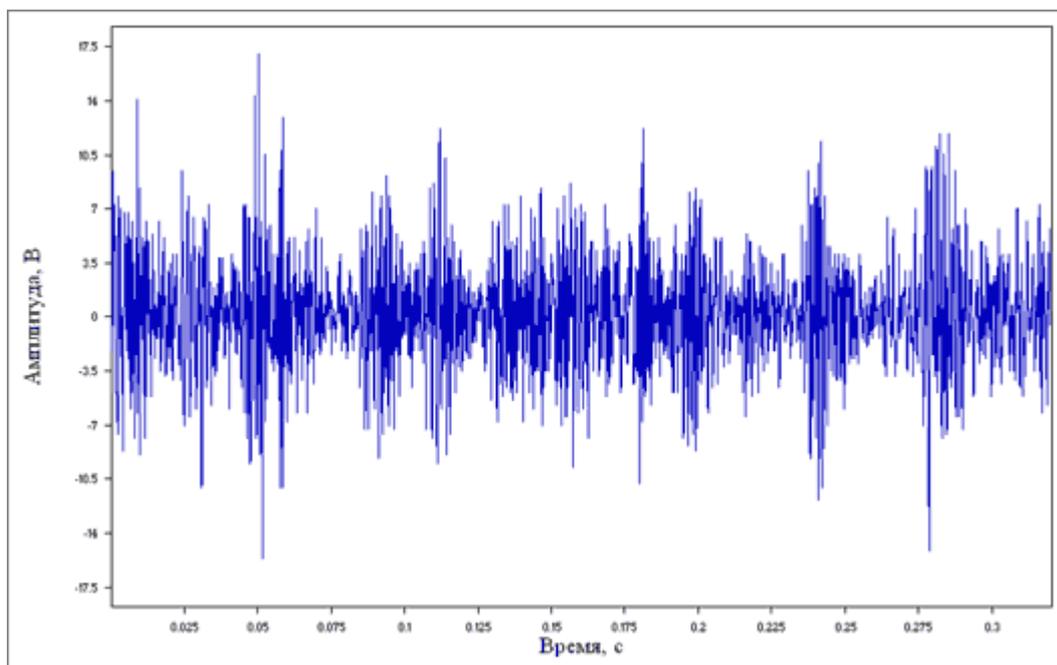


Рисунок 1.2 Виброакустический сигнал

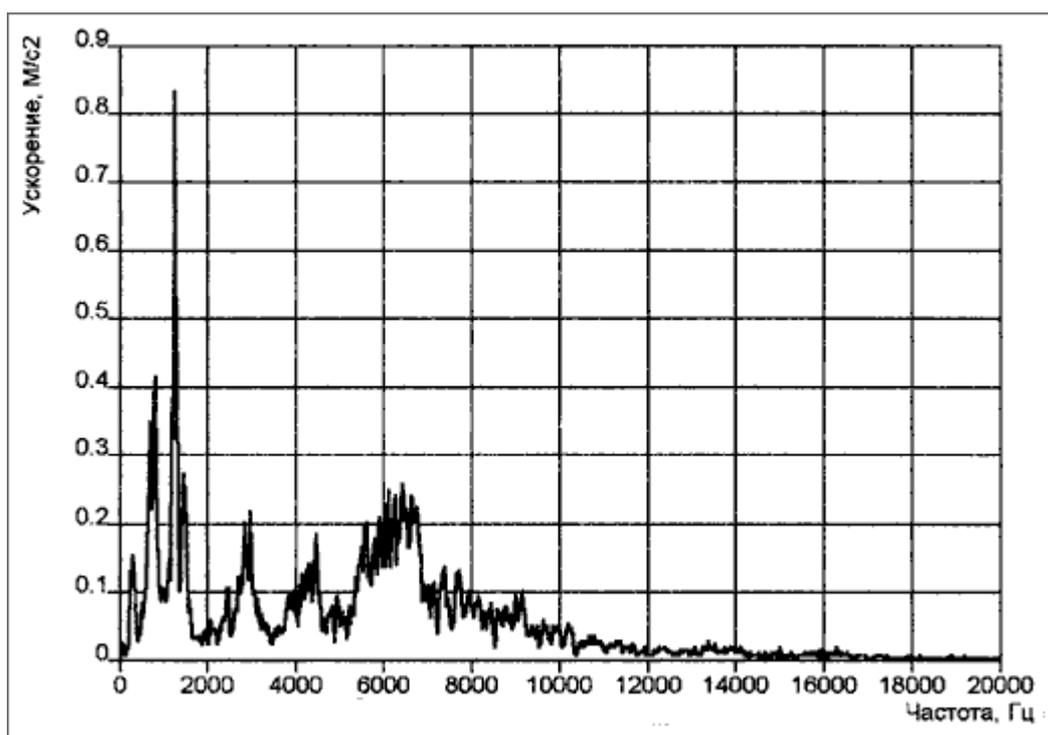


Рисунок 1.3 Спектр виброакустического сигнала.

Приведенный сигнал был измерен датчиком, который устанавливается на опоре подшипника 60305 со следующими дефектами: износ сепаратора; раковины на наружном кольце; дефекты на телах качения. Значения глубины модуляции, полученные на основных подшипниковых частотах при использовании полосовых фильтров с центральными частотами 3,1; 6,3; 8 и 10 кГц сведены в таблицу 1.2

Табл. 1.2. Зависимость глубины модуляции на основных подшипниковых частотах от частоты используемого полосового фильтра.

Центральная частота полосового фильтра, кГц	Глубина модуляции на основных подшипниковых частотах, %.			
	$f_c = 6,5$ Гц	$4f_c = 26$ Гц	$f_n = 44,5$ Гц	$f_{г.к.} = 60,25$ Гц
3,1	5,97	6,47	11,4	13,4
6,3	25,3	17,2	25,3	14,2
8	33,9	17	28,5	18,2
10	32,6	13,9	24,3	25,7

Анализ полученных результатов дает понять, что при полосовом фильтре 3,1 кГц значения глубины модуляции значительно ниже, чем при других измерениях. Данная частотная полоса находится на склоне резонансного пика рис. 1.3. Это означает, что небольшие отклонения частот приводят к значительному изменению амплитуды сигнала. Таким образом, снимаемый модулированный сигнал нельзя считать стационарным. Следовательно, этот частотный диапазон использовать нельзя.

Полосовой фильтр с центральной частотой 6,3 кГц попадает на вершину резонансной области. Использование этого диапазона для измерения нежелательно, потому что в этой частотной полосе велика дисперсия амплитуд. Это означает, в этой частотной области велика разность значений амплитуд на соседних частотах при ровном участке на спектре. Высокочастотные спектры, измеренные на других аналогичных опорах, будут иметь смещенный резонанс и сравнение силы дефекта затруднительно.

Подходящим для данного подшипника является диапазон третьоктавного фильтра с центральной частотой 8 кГц. Из рис. 1.2 видно, что в этой частотной полосе спектр имеет высокую амплитуду и равномерное распределение в полосе 7,5 – 9 кГц. Отсюда следует, что при изменении режимов, значения амплитуд будут изменяться незначительно.

Частотный диапазон 9 – 11 кГц также используется для получения спектров огибающих сигналов. Преимуществом этого диапазона является то, что в основном механические шумы лежат в более низких частотах. В этом диапазоне спектр имеет равномерный характер. Он пригоден для большинства подшипников небольшого диаметра, так как в этом диапазоне находятся резонансы различного порядка внутреннего и наружного колец

1.4. ЖЕСТКОСТЬ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Жесткость подшипника качения определяется упругими взаимодействиями тел качения с кольцами и контактными деформациями колец с сопряженными деталями. Жесткость подшипника качения (рис. 1.4) зависит, главным образом, от его типа и размера [1, 2] (Приложение 2).

Жесткость подшипника рассчитывается по формуле:

$$C_S = K_C \cdot d^{0,65} \quad (1.5)$$

Где C_S – коэффициент жесткости, $H^{0,84}/\text{мкм}$;

d – диаметр отверстия подшипника;

K_C – вспомогательный коэффициент для расчета коэффициента жесткости см. табл.

Данная формула справедлива для подшипников, установленных без перекоса в жесткую сопряженную конструкцию.

Табл. 1.3. Вспомогательный коэффициент K_C

Конструктивный ряд подшипника	Коэффициент K_C	Конструктивный ряд подшипника	Коэффициент K_C
SL1818	12,8	NJ2..-E	11,1
SL1829, SL1830, SL1923	16	NJ3..-E	11,3
SL1850, SL0148, SL0248, SL0249	29,2	NJ22..-E	15,4
NA48	24,9	NJ23..-E	16,9
NA49	23,5	NU10	9,5
NA69	37,3	NU19	11,3
NKIS	21,3	NN30..-AS-K	18,6
NKI	$4,4 B^{0,8}/d^{0,2}$	ZNR31-22	21,1
HK, BK	$4,2 B^{0,8}/d^{0,2}$	ZNR31-23	23,2
K811, 811, K812, 812	36,7	ZNR31-30	30
K893, 893, K894, 894	59,7	ZNR31-31	29,3

Основываясь на данных таблицы и воспользовавшись формулой, определяем значения жесткости для каждого из приведенных типов подшипников.

Зависимость коэффициента жесткости подшипника качения от его диаметра представлена на рис.1.4.

При увеличении диаметра подшипников качения увеличивается и жесткость подшипника (рис. 1.4). В зависимости от типа подшипника получаются различные кривые, отображающие величину жесткости. Самой большой жесткостью обладают радиальные роликовые и радиальные игольчатые подшипники, наименьшей – шарикоподшипники.

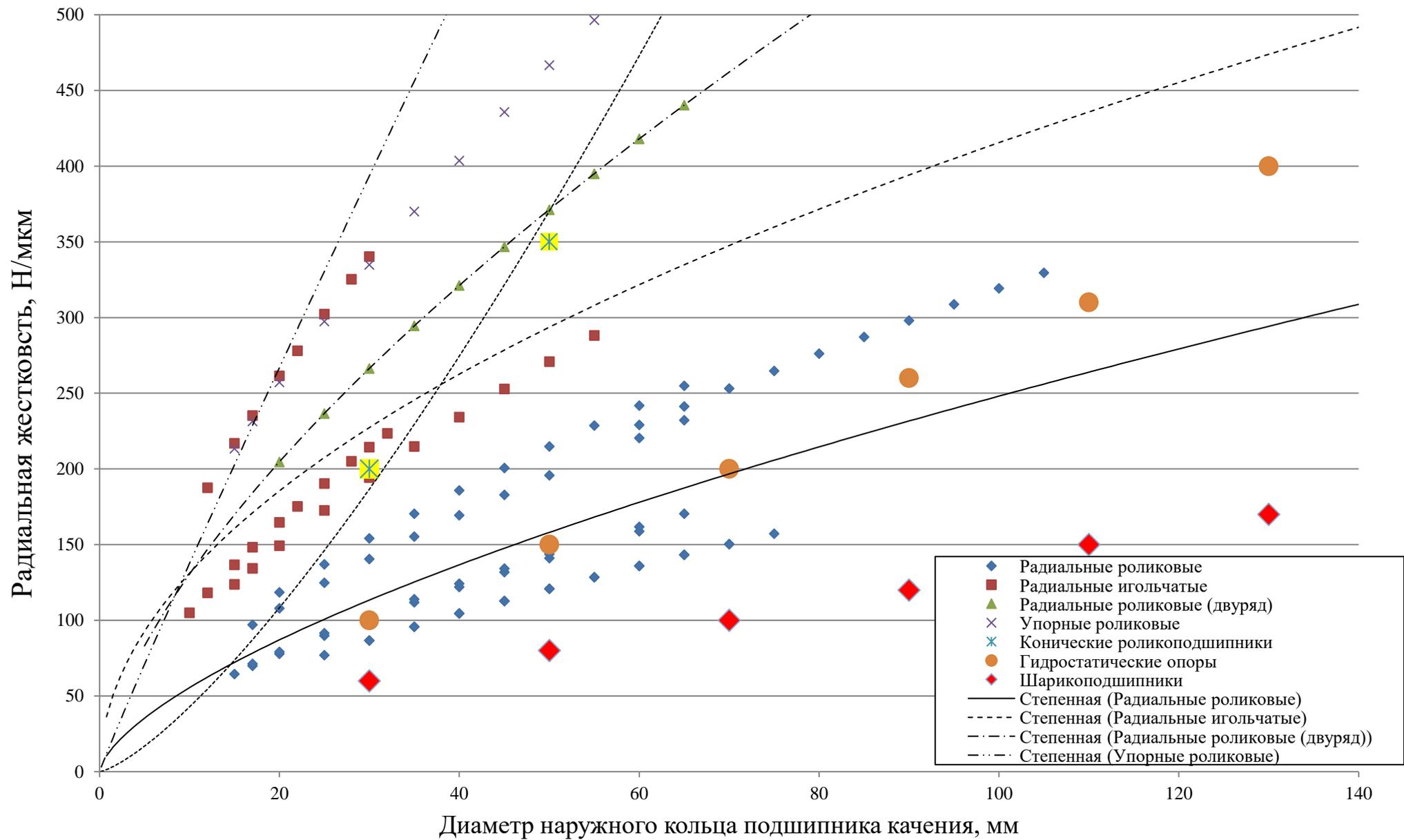


Рисунок 1.4. Зависимость коэффициента жесткости подшипника качения от его диаметра

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. Существуют четыре характерные частоты, применяемые для диагностики подшипников – частота вращения сепаратора $f_{сеп}$, частота вращения тел качения $f_{тк}$, частоты перекатывания тел качения по дефектам наружного $f_{нар}$ и внутреннего $f_{вн}$ колец. Каждая из приведенных частот модулируется частотой вращения ротора, это приводит к возникновению боковых гармоник, число которых с увеличением дефекта возрастает. При значительном развитии дефекта на спектре возникают «энергетические горбы», которые могут возникать как вблизи характерной частоты, так и вблизи частоты резонанса конструкции или ее отдельного элемента.
2. Для определения дефекта подшипника пользуются спектром огибающей модулированного сигнала. Выявлены диагностические признаки модуляции:
 - чем больше глубина модуляции, тем больше деградация машины;
 - если амплитудная модуляция 15% и больше – это дефект ПК, который может привести к аварии.
3. Каждый дефект подшипника имеет свои индивидуальные диагностические признаки.
4. Подходящими для измерений спектров огибающих сигналов являются диапазоны третьоктавных фильтров, для которых прямой спектр имеет высокую амплитуду и равномерное распределение.
5. Зависимость коэффициента жесткости подшипника качения от его диаметра представляет собой кривую. Анализируя которую можно сделать следующее заключение. Жесткость подшипника зависит от его типа и размера. Наибольшей жесткостью обладают радиальные роликовые и радиальные игольчатые подшипники, наименьшая жесткость у шарикоподшипников.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

2.1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

В ходе исследования разработана расчетная схема, представляющая собой многомассовую систему (рис. 2.1).

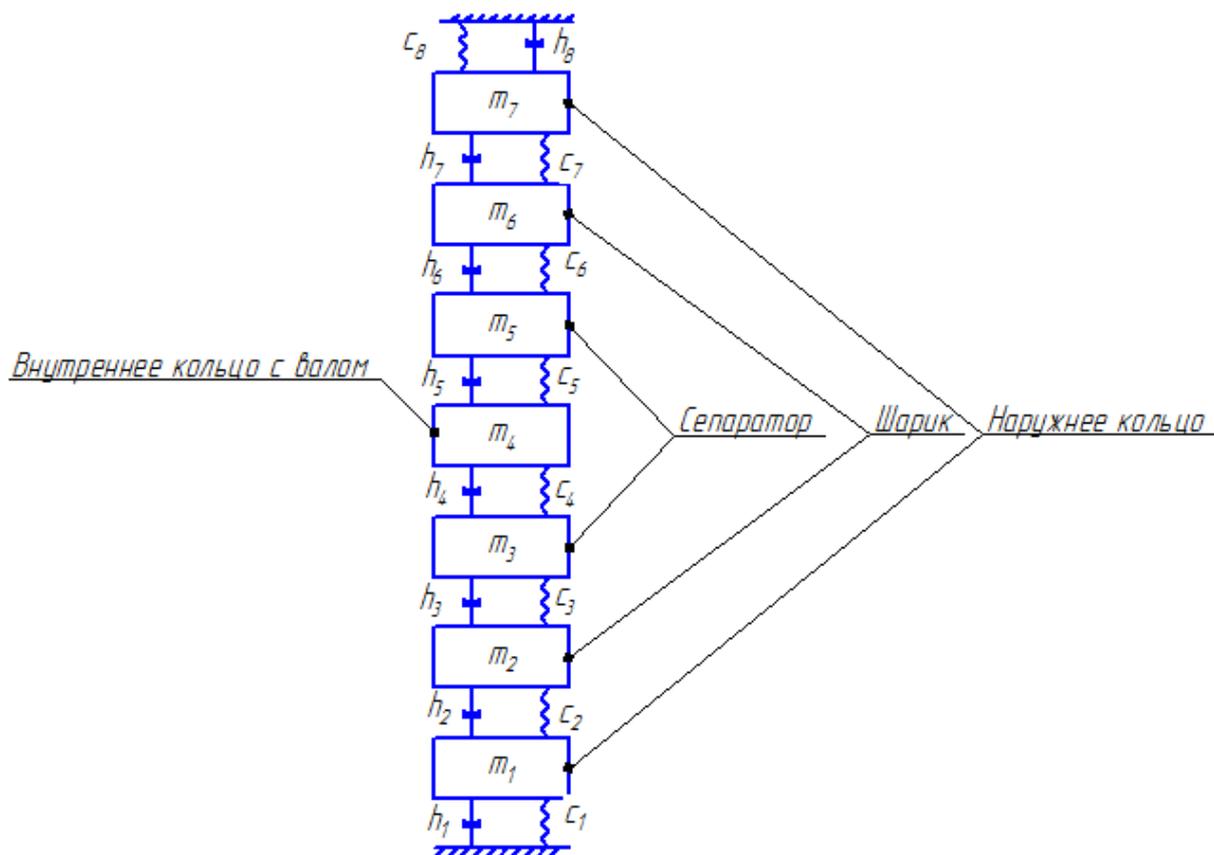


Рисунок 2.1. Кинематическая схема подшипника качения, как многомассовой системы: m_1 и m_7 – масса наружного кольца; m_2 и m_6 – масса тел качения; m_3 и m_5 – масса сепаратора; m_4 – масса внутреннего кольца с валом; $c_1...c_8$ – коэффициенты жесткости; $h_1...h_8$ – коэффициенты демпфирования

Проведя ряд преобразований, получаем схему (рис.2.2), где внутреннее кольцо, сепаратор и тела качения подшипника приняты как единое тело с массой m_2 .

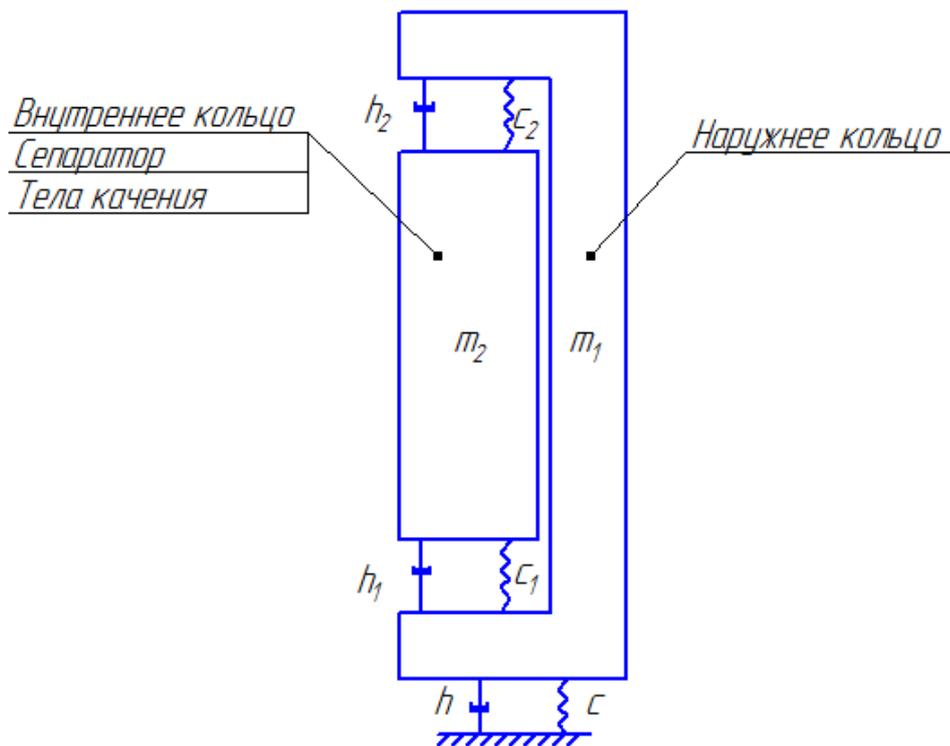


Рисунок 2.2. Кинематическая схема подшипника качения, как упрощенной многомассовой системы: m_1 – масса наружного кольца; m_2 – масса внутреннего кольца с валом, сепаратора и тел качения; c и c_1 – коэффициенты жесткости; h и h_1 – коэффициенты демпфирования

В ходе преобразований и упрощений получаем одномассовую систему (рис. 2.3).

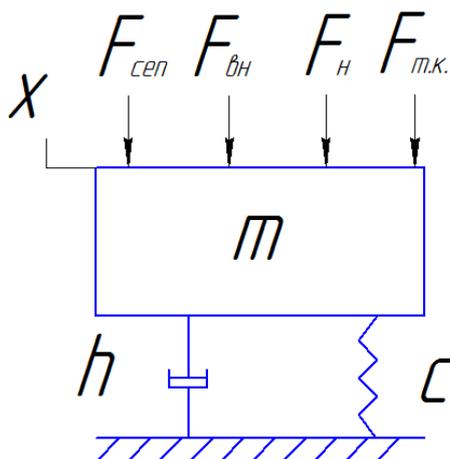


Рисунок 2.3. Кинематическая схема подшипника качения, как одномассовой системы: m – масса подшипника; c – коэффициент жесткости; h – коэффициент демпфирования; $F_{сеп}$ – сила влияния дефектов сепаратора; F_{mk} – сила влияния дефектов тел качения; $F_{нар}$ – сила влияния дефектов наружного кольца; $F_{вн}$ – сила влияния дефектов внутреннего кольца

Сила, действующая на частоте вращения сепаратора, учитывает изменение жесткости подшипника качения в направлении измерения при вращении внутреннего кольца.

Исходя из схемы сил, действующих на подшипник качения (рис. 2.3), составим уравнение баланса внешних и внутренних сил:

$$F_m + F_h + F_c = F_{сеп} + F_{тк} + F_{нар} + F_{вн} \quad (2.1)$$

где F_m – сила инерции,

F_h – сила демпфирования,

F_c – сила упругости.

Внутренние силы зависят от кинематики системы:

$$\begin{aligned} F_m &= m \cdot a, \\ F_h &= h \cdot V, \\ F_c &= c \cdot x, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где a – ускорение,

V – скорость,

x – перемещение.

Внешние силы имеют колебательную природу:

$$\begin{aligned} F_{сеп} &= A_{сеп} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{сеп} \cdot t), \\ F_{тк} &= A_{тк} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{тк} \cdot t), \\ F_{нар} &= A_{нар} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{нар} \cdot t), \\ F_{вн} &= A_{вн} \cdot \sin(2\pi \cdot f_{вн} \cdot t), \end{aligned} \quad (2.3)$$

где $A_{сеп}$, $A_{тк}$, $A_{нар}$, $A_{вн}$ – амплитуды внешних сил,

t – время.

Разработка математической модели основывается на уравнении ускорения тела. Ускорение тела выражается из уравнений (2.1) и (2.2):

$$a = \frac{(F_{сеп} + F_{тк} + F_{нар} + F_{вн}) - (h \cdot V + c \cdot x)}{m}. \quad (2.4)$$

В виде дифференциальных уравнений уравнение (2.4) принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V; \\ \frac{dV}{dt} = \frac{(F_{сеп} + F_{тк} + F_{нар} + F_{вн}) - (h \cdot V + c \cdot x)}{m}. \end{cases} \quad (2.5)$$

2.2. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ-РЕШАТЕЛЯ

Для проверки математической модели выбран шарикового радиального однорядного подшипника 210 (Приложение 2), для которого определены значения подшипниковых частот по уравнениям (1.1) при частоте вращения ротора $f_{ep} = 30$ Гц:

- частота вращения сепаратора $f_{cen} = 12,3$ Гц;
- частота вращения тел качения $f_{mk} = 80$ Гц;
- частота перекатывания тел качения по дефектам наружного кольца $f_{нар} = 122,8$ Гц;
- частота перекатывания тел качения по дефектам внутреннего кольца $f_{вн} = 177,2$ Гц.

Для расчета системы уравнений (2.5) в среде MatLab заданы исходные данные:

- масса подшипника $m=0,46$ кг (Приложение 2);
- коэффициент жесткости $c=120000$ Н/м (рис. 1.1);
- коэффициент демпфирования $h=4$ Н/м*с.

Файл-функцию в среде MatLab имеет следующий вид (рис. 2.4).

```
1 function a=dis(t,x)
2     %Зададим исходные параметры
3     m=0.46; %масса тела
4     c=120000; %коэффициент жесткости подшипника
5     h=4; %коэффициент вязкости
6
7     A1=3.25; A2=1; A3=1.85; A4=3.15; %амплитуды колебаний
8     |
9     w1=129;%угловая частота (сепаратора)
10    w2=838; %угловая частота (тел качения)
11    w3=1285; %угловая частота (наружного кольца)
12    w4=1856; %угловая частота (внутреннего кольца)
13    F1=A1*sin(w1*t);%сила, действующая на частоте вращения сепаратора
14    F2=A2*sin(w2*t);%сила, вызванная наличием дефектов на поверхности тел качения
15    F3=A3*sin(w3*t);%сила, вызванная наличием дефектов на поверхности наружного кольца
16    F4=A4*sin(w4*t);%сила, вызванная наличием дефектов на поверхности внутреннего кольца
17
18    %x(1)- X x(2)-V
19    a=[x(2);
20        ((F1+F2+F3+F4)-c*x(1)-h*x(2))/m];
```

Рис. 2.4. Файл-функция

После того как файл-функция составлена необходимо составить программу для ее решения, которая содержит процедуру ode45, позволяющую решать систему уравнений (рис.2.5).

```

1   %Задаем начальные условия
2   -   close all;
3   -   clear;
4   -   clc;
5   % function raschet()
6   -   [t,h]=ode45(@dis,[0,10],[0,0]);
7   -   x=h(:,1);%Левый столбец
8   -   Vout=h(:,2);% Правый столбец
9
10  -   subplot(2,1,1)%Построение графика перемещения
11  -   plot (t,x,'r'); %команда для построения графика
12  -   grid on; %Создание сетки
13  -   title('график функции');% подпись графика
14  -   legend('перемещение');
15  -   xlabel('время, с')%название оси x
16  -   ylabel('амплитуда, м') %название оси y
17
18  -   subplot(2,1,2)%Построение графика скорости
19  -   plot (t,Vout,'g'); %команда для построения графика
20  -   grid on; %Создание сетки
21  -   title('график функции');% подпись графика
22  -   legend('скорость');
23  -   xlabel('время, с')%название оси x
24  -   ylabel('амплитуда, м/с') %название оси y

```

Рис. 2.5. Решение функции

После того как система уравнений посчитана на экране отображается решение (рис. 2.6).

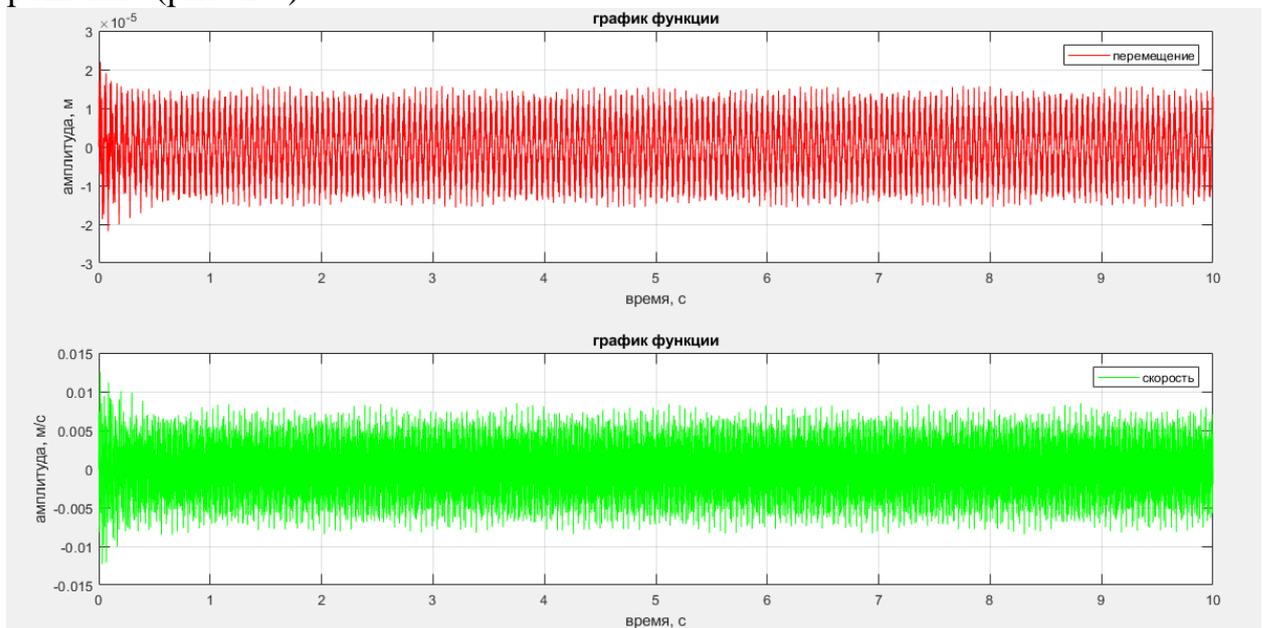


Рис. 2.6. Результат решения системы уравнений

Составлена программа (рис. 2.7) для разложения решения (рис. 2.6) в спектр (рис.2.8).

```

1 - Tm=10;%Длина сигнала, с
2 - Fd=1024;%частота дискретизации, Гц
3 - FftL=2048;%количество линий фурье спектра
4
5 - T=0:1/Fd:Tm; %массив отсчетов времени
6 - [t,h]=ode45(@dis,[T],[0,0]);% необходимо для интегрирования уравнения, представленного в ф
7 - v=h(:,2);%Массив сигнала
8
9
10 - FftS=abs(fft(v,FftL));%амплитуды преобразования фурье сигнала
11 - FftS=2*FftS./FftL;%нормировка спектра по амплитуде
12 - FftS(1)=FftS(1)/2;%нормировка постоянной составляющей в спектре
13
14 - F=0:Fd/FftL:Fd/2-1/FftL;
15
16 - subplot(2,1,1);%выбор области окна для построения
17 - plot(T,v);%построение сигнала
18 - title('скорость');%подпись графика
19 - xlabel('Время (с)');%Подпись оси x графика
20 - ylabel('Амплитуда(м/с)');%подпись оси y графика
21 - grid on;
22
23 - subplot(2,1,2);
24 - plot(F,FftS(1:length(F)));
25 - title('Спектр сигнала');

```

Рис. 2.7. Скрипт-файл с преобразованием Фурье

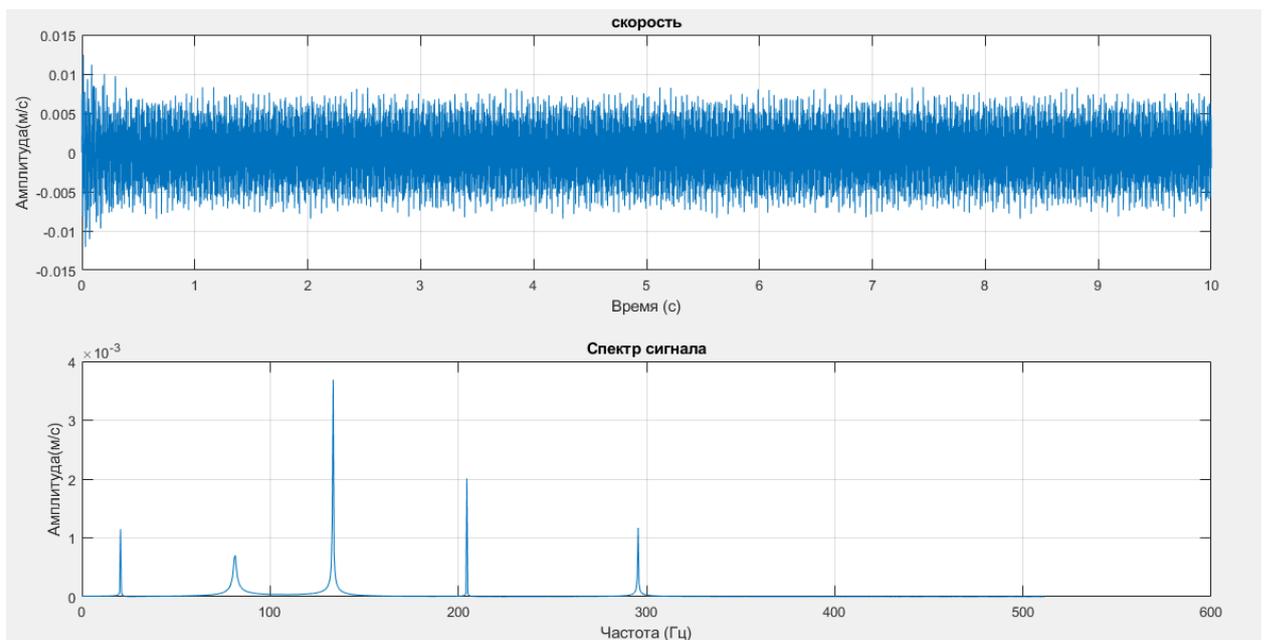


Рис.2.8. Решение: сигнала и спектр

2.3. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Проведен ряд экспериментов, где изменялись коэффициент жесткости и масса системы. Так же определены зависимость/пропорция между реакциями системы от внешних сил.

Задан коэффициент жесткости в 10 раз больше исходного (рис. 2.9).

- $c=120\,000$ Н/м, $A_1=1$; $A_2=1$; $A_3=1$; $A_4=1$



Рис. 2.9. Спектр сигнала

Наблюдается увеличение амплитуды частоты внутреннего кольца практически в 5 раз (рис. 2.9). Собственная частота всей системы смещается в зону частот между внутренним и наружным кольцом.

Задан коэффициент жесткости в 100 раз больше исходного (рис.2.10):

- $c=1\ 200\ 000\ \text{Н/м}$, $A_1=1$; $A_2=1$; $A_3=1$; $A_4=1$

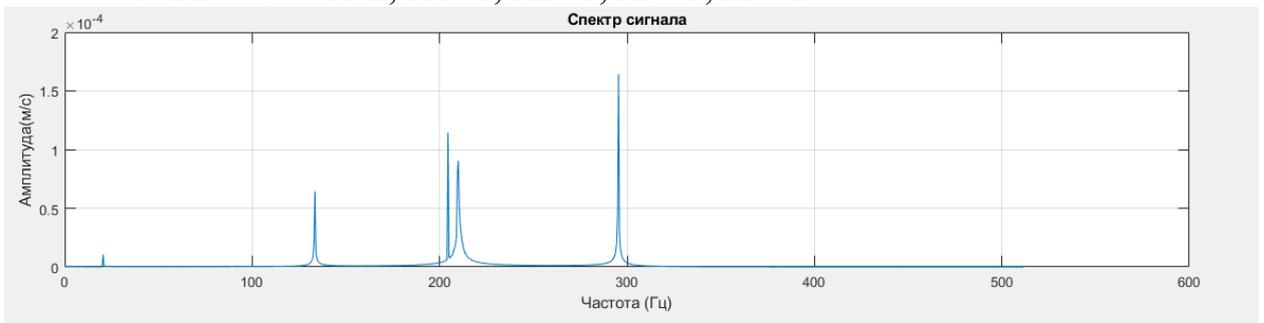


Рис. 2.10. Спектр сигнала

Значения амплитуд падают, собственная частота смещается к значению в 210 Гц.

Дальше эксперимент проводится с уменьшением значения коэффициента жесткости в 10 раз. Задан коэффициент жесткости в 10 раз меньше исходного (рис. 2.11):

- $c=12\ 000\ \text{Н/м}$, $A_1=1$; $A_2=1$; $A_3=1$; $A_4=1$

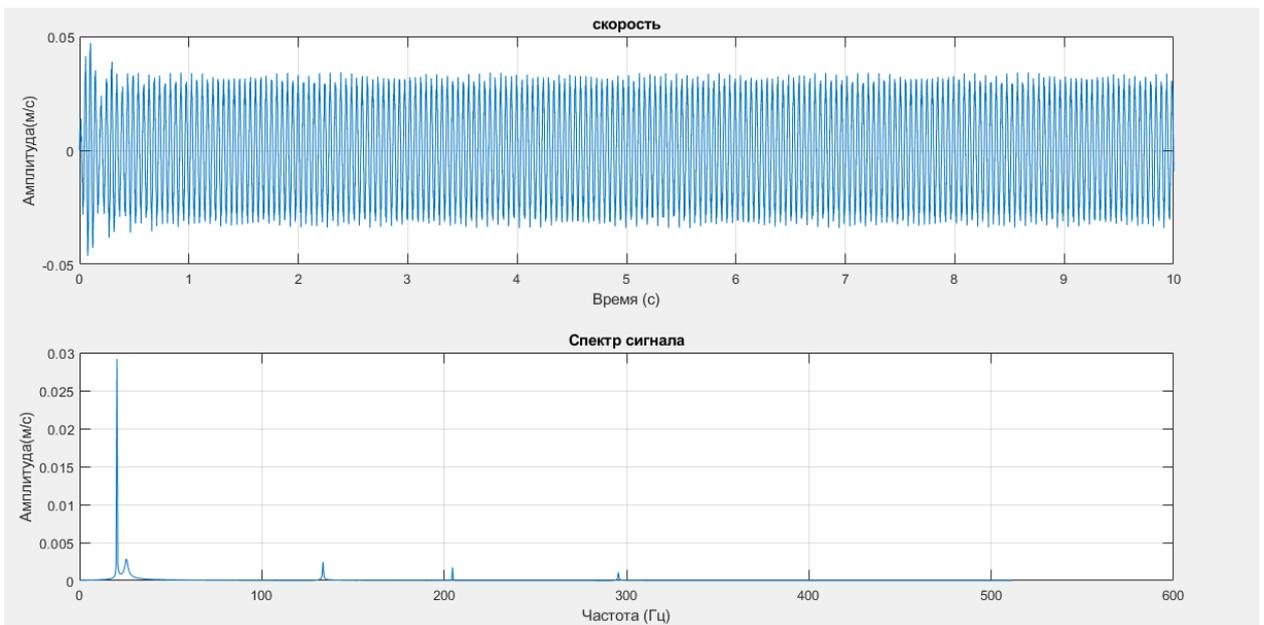


Рис. 2.11. Сигнала и спектр

Задан коэффициент жесткости в 100 раз меньше исходного (рис. 2.12):

- $c=1\ 200\ \text{Н/м}$, $A_1=1$; $A_2=1$; $A_3=1$; $A_4=1$

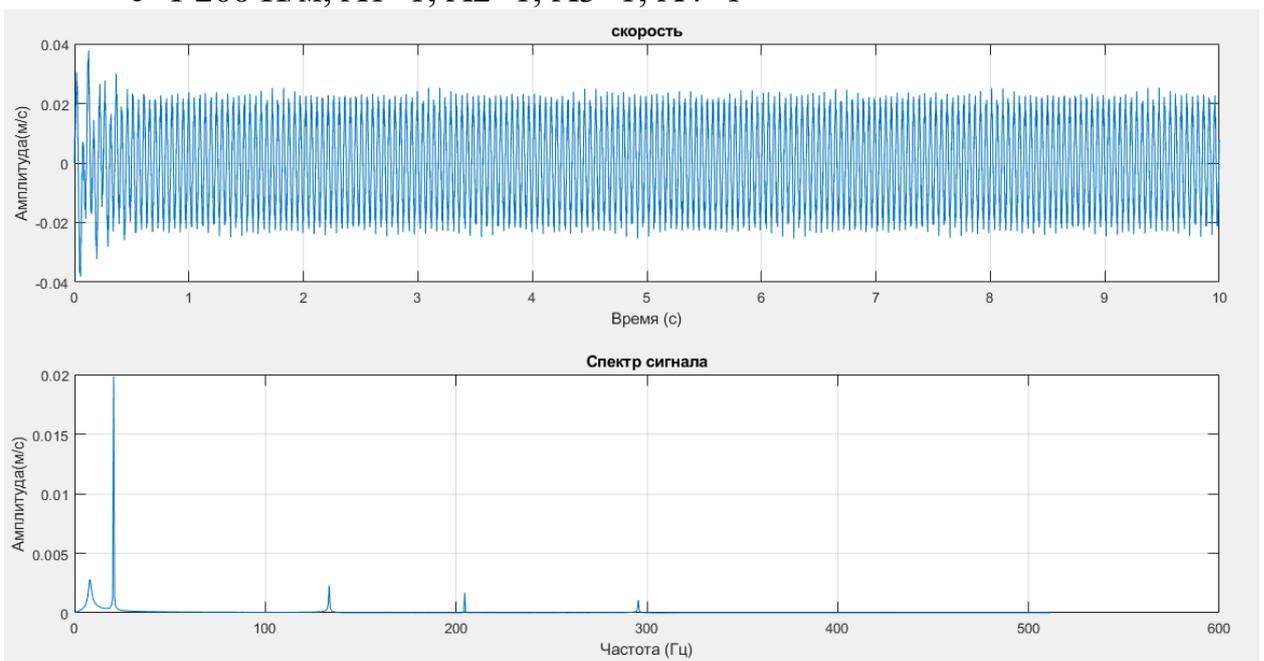


Рис. 2.12. Сигнала и спектр

Проведен эксперимент с учетом массы всего узла, в котором работает подшипник. Для этого взято значение статической грузоподъемности 19800 Н (Приложение 2, табл. П.2.1), следовательно, максимальная масса узла равняется 1980 кг. Подставив полученное значение массы в файл-функцию, после решения функции получились следующие результаты (рис. 2.12).

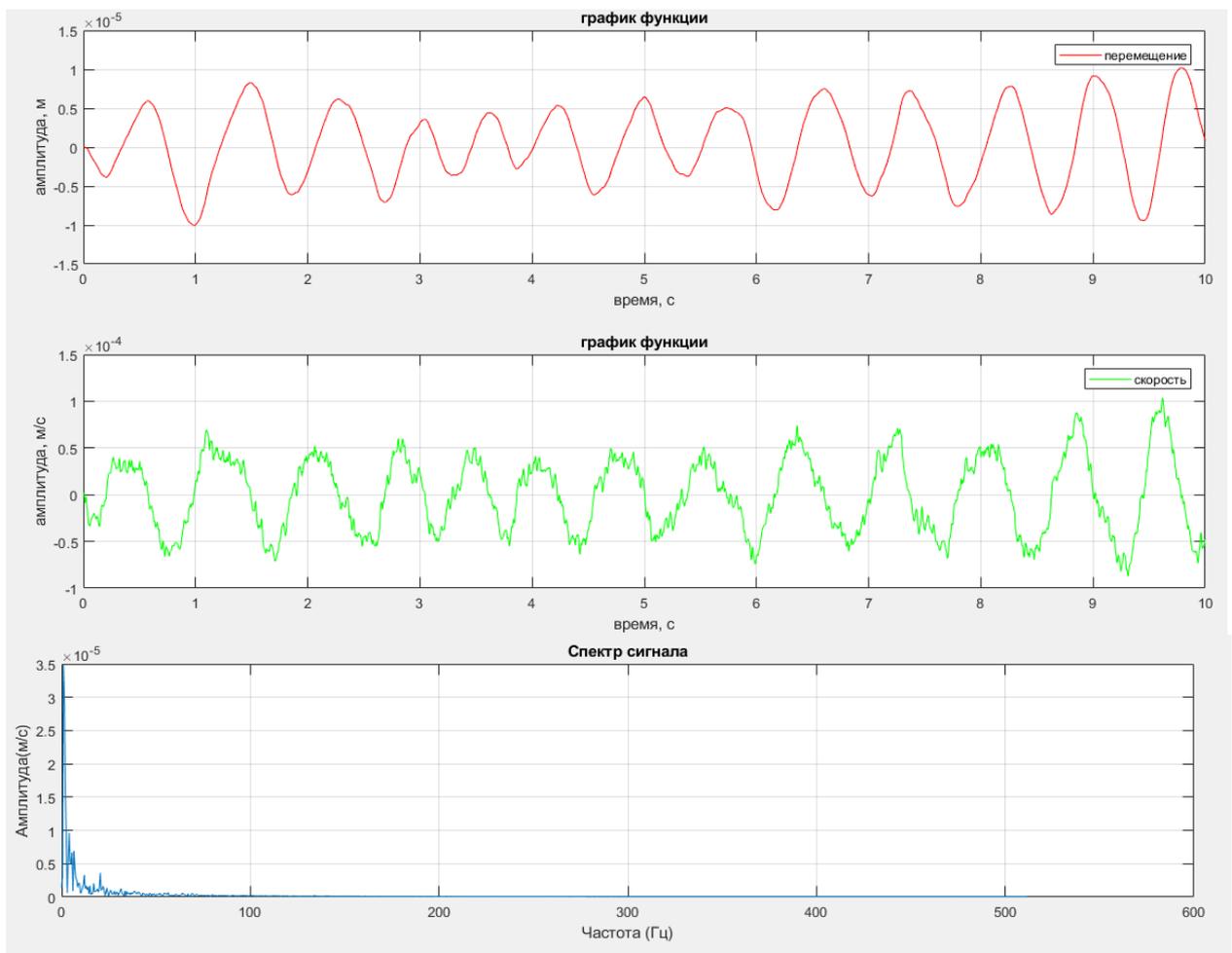


Рис. 2.12. Сигнал и спектр

На полученном спектре (рис. 2.12) видно, что при увеличении массы и неизменных значениях амплитуд, пики оказываются слишком малы.

Проведен эксперимент с амплитудами частот, в котором составлены пропорции одной амплитуды от другой. Для этого принято значение амплитуды A_1 – амплитуда сигнала на частоте вращения сепаратора равной 1 и изменялись значения остальных амплитуд до тех пор, пока их пики на спектре сигнала не стали равны между собой.

Проведен ряд экспериментов (рис. 2.13), получены следующие данные, что при изменении массы с 0,46 до 19 кг значения амплитуд изменяются в следующих пределах:

- $A_2=7,3 - 8,5$;
- $A_3=10 - 11,7$;
- $A_4=15,55 - 18.3$.

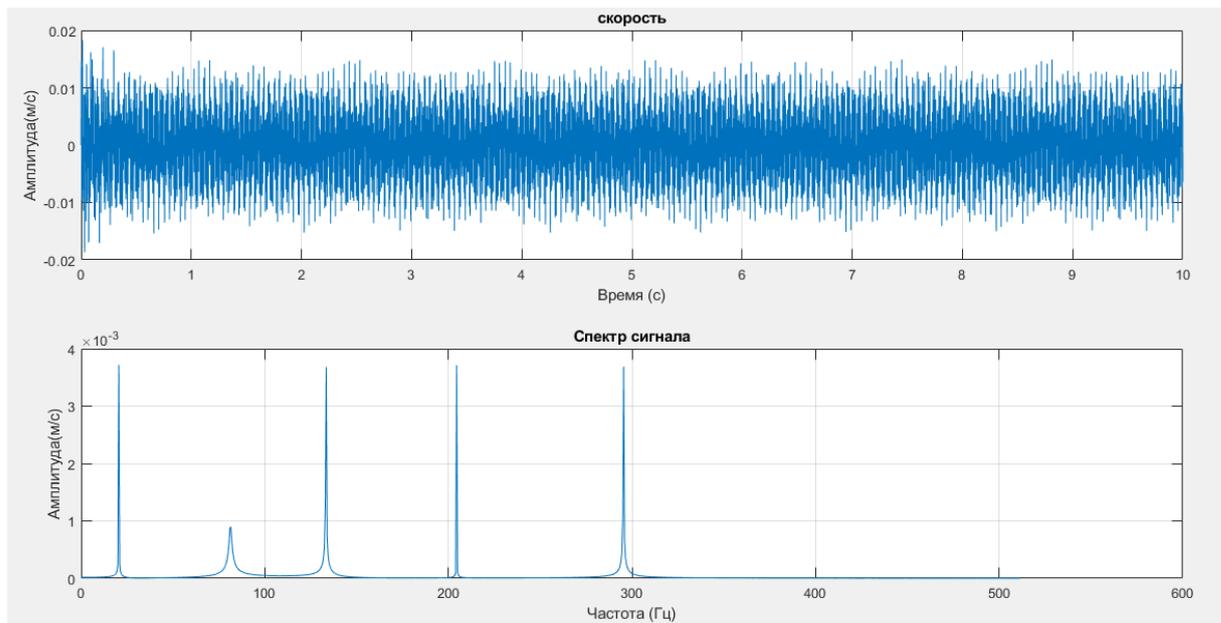


Рис. 2.13. Сигнал и спектр

Изменение амплитуд сигналов на частотах дефектов подшипника качения связано с тем, в какую зону они попадают (зарезонансную или дорезонансную). Соответственно при увеличении дефекта подшипника качения увеличивается амплитуда сигнала на частоте данного дефекта.

Отсюда можно сделать вывод, что величины дефектов (геометрические размеры) связаны в процентном соотношении так же, как и амплитуды сигналов на частотах дефектов подшипника качения, так же можно сказать, что для амплитуд необходимы разные пороговые значения.

ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. Получена диагностическая информация, основанная на изучении модели подшипника качения с дефектами:

- при увеличении жесткости системы её собственная частота перемещается в зону частот расположенную между частотой изменения формы наружного кольца и частотой изменения формы внутреннего кольца;
- при уменьшении жесткости, собственная частота смещается в зону частоты вращения сепаратора и частоты перекатывания тел качения.

2. Проведена оценка влияния массы узла, с учетом ротора, на собственные частоты колебаний системы. При изменении массы с 0,46 до 19 кг. значения амплитуд изменяются в следующих пределах: $A_2=7,3 - 8,5$; $A_3=10 - 11,7$; $A_4=15,55 - 18,3$. Интервалы значений заданы при массе $m=19\text{кг}$ и $m=0,46\text{ кг}$ соответственно. Изменение амплитуд сигналов на частотах дефектов подшипника качения связано с тем, в какую зону они попадают (зарезонансную или дорезонансную). Соответственно при увеличении дефекта подшипника будет увеличиваться амплитуда сигнала на частоте данного дефекта.

3. Сформулирована гипотеза: Дефекты подшипника качения с одинаковой степенью развития вносят разный вклад в колебания подшипника качения. Величины дефектов (геометрические размеры) связаны в процентном соотношении так же, как и амплитуды сигналов на частотах дефектов подшипника качения. Отсюда следует, что для каждого дефекта подшипника качения существуют индивидуальные пороговые значения.

3. ЭКСПЕРИМЕНТ

3.1. ВЫБОР 1/3-ОКТАВНОГО ФИЛЬТРА

Процедура проведения регистрации огибающей вибросигнала сложна и должна учитывать особенности, позволяющие повысить чувствительность метода.

Регистрация проводится не во всем частотном диапазоне работы прибора, а лишь в узкой полосе. Так как первые измерения при помощи данного метода проводились компанией «Брюль&Кьер», занимавшейся не только производством приборов вибрационного контроля, но и акустическими измерениями, для определения параметров полос частот использовались октавные определения. В наши дни стандартом для расчета огибающей сигнала считается применение треть октавных фильтров, или фильтров максимально приближенных к ним.

Выбор необходимой полосы частот является достаточно сложным. В этой полосе должны быть максимальными колебания, возникающие после динамических ударов в зоне дефекта подшипника, но минимальные колебания, возникающие из-за других причин, которые приводят к увеличенным вибрациям в зоне опорных подшипников. [4]

Для определения оптимального диапазона третьоктавного фильтра проведем ряд экспериментов на учебном стенде «ДИАМЕХ-2000», в котором установлены подшипники качения 6203. Данный стенд позволяет измерять вибрационные характеристики подшипников при заданной частоте вращения в соответствии с ГОСТ Р 52545.1-2006 (ИСО 152421:2004) Подшипники качения.

В данном эксперименте необходимо задаться рядом определённых условий, необходимых для его проведения:

- настройка фильтра 1/3-октавного фильтра: 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6400; 8000; 1000 Гц;
- частота вращения вала: 2000; 3000 об/мин;
- сбалансированный или несбалансированный стенд;
- стенд установлен на парте или на полу.

Для простоты проведения эксперимента составлена таблицу 3.1, в которой комбинации параметров будут носить свои численно-буквенные шифры.

Табл. 3.1. Численно-буквенные шифры измерений

I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII	
111	211	333	433	555	655	777	877	999	99	AAA	BAА	CCC	TCC	ФФФ	ХФФ
121	221	343	443	565	665	787	887	909	9	АБА	БАА	СТС	ТТС	ФХФ	ХХФ
112	212	334	434	556	656	778	878	990	90	АББ	БАБ	ССТ	ТСТ	ФФХ	ХФХ
222	122	444	344	666	566	888	788	0	900	БББ	АББ	ТТТ	СТТ	ХХХ	ФХХ

Где первая цифра или буква обозначает частоту вращения вала:

- частота вращения вала 3000 об/мин. (1,3,5,7,9,А,С,Ф);
- частота вращения вала 2000 об/мин. (2,4,6,8,0,Б,Т,Ч)

Вторая цифра или буква:

- стенд сбалансирован (1,3,5,7,9,А,С,Ф);
- стенд не сбалансирован (2,4,6,8,0,Б,Т,Ч)

Третья цифра или буква:

- стенд установлен на столе(1,3,5,7,9,А,С,Ф);
- стенд установлен на полу(2,4,6,8,0,Б,Т,Ч).

Номер столбика обозначает настройку фильтра (2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6400; 8000; 1000 Гц).

Как видно из таблицы 3.1 необходимо провести 64 замера.

После проведения всех замеров проведена обработка полученных данных. Для этого необходимо знать частоты дефектов подшипника качения. Для определения частот подшипника используются уравнения (1.1) при частоте вращения ротора $f_{ер} = 50$ Гц:

- частота вращения сепаратора $f_{сен} = 18,7$ Гц;
- частота вращения тел качения $f_{тк} = 93,5$ Гц;
- частота перекатывания тел качения по дефектам наружного кольца $f_{нар} = 131,1$ Гц;
- частота перекатывания тел качения по дефектам внутреннего кольца $f_{вн} = 218,9$ Гц.

Для проведения обработки составлены таблицы 3.2-3.4 с уточненными значениями частот подшипника качения и соответствующим им глубинам модуляции.

Табл. 3.2. Величина глубины модуляции в % при разных настройках фильтра для дефекта на частоте 20 Гц

частота		111	211	121	221	112	212	222	122
20		а	б	в	г	д	е	ё	ж
	2000	11,00	2,90	9,70	6,70	8,90	3,30	7,10	11,20
	2500	5,20	1,50	10,60	3,80	5,40	2,70	6,00	8,80
	3150	7,50	3,90	8,90	5,60	6,70	2,40	9,70	9,30
	4000	12,90	2,90	7,00	6,20	5,60	2,40	4,60	9,30
	5000	7,90	2,10	7,90	8,40	4,70	3,80	5,00	7,00
	6400	4,70	2,60	7,20	5,70	5,50	3,60	3,80	9,10
	8000	7,00	3,00	4,20	6,00	6,20	3,60	3,10	9,00
	10000	7,40	1,70	5,60	2,70	2,90	1,90	2,20	4,70

По полученным данным необходимо построить графики, которые будут отображать значения модуляции при определенной настройке фильтра.

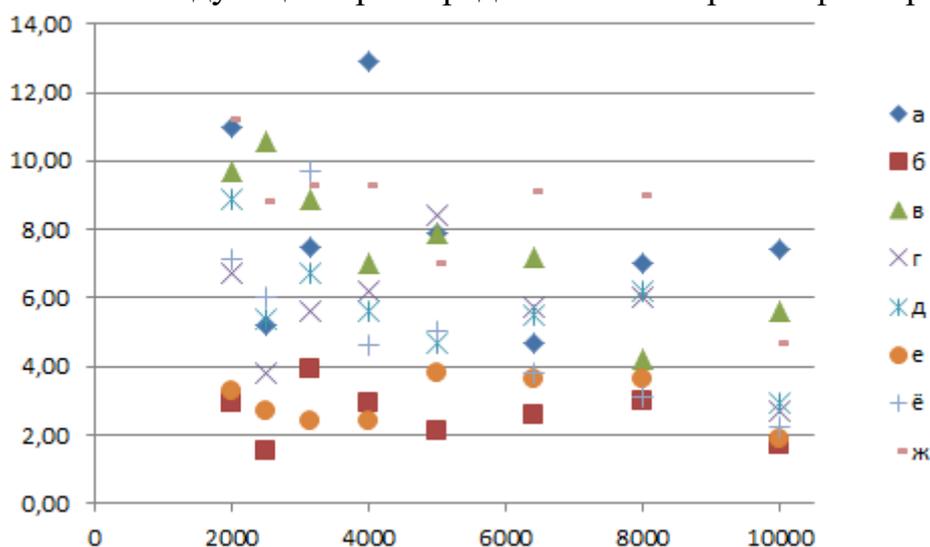


Рисунок 3.1. Величина глубины модуляции при разных настройках фильтра

После составления таблиц со значениями и графиков, отображающих модуляцию необходимо рассчитать среднее арифметическое значение; среднее квадратичное значение; посчитать доверительный интервал и перевести его в проценты. Для этого воспользуемся следующими формулами [3]:

Среднее арифметическое значение $X_{ср}$ находим по формуле:

$$X_{ср} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8}{8} = \frac{\sum_{i=1}^8 x_i}{8} \quad (3.1)$$

Среднее квадратичное значение S находим по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (x_i - X_{ср})^2}{8}} \quad (3.2)$$

Доверительный интервал D находим по формуле:

$$D = \frac{3 \cdot S}{\sqrt{n}} \quad (3.3)$$

Для перевода доверительного интервала D в проценты, необходимо использовать метод пропорции, который находится по формуле:

$$D = \frac{D}{S} \cdot 100\% \quad (3.4)$$

Полученные значения занесены в таблицу 3.3.

Табл. 3.3. Полученные значения

частота		111	211	121	221	112	212	222	122	ср.знач	скз		2,828427
20		а	б	в	г	д	е	ё	ж	Хср	s	D	D(%)
	2000	11,00	2,90	9,70	6,70	8,90	3,30	7,10	11,20	7,60	3,01	2,13	27,96246
	2500	5,20	1,50	10,60	3,80	5,40	2,70	6,00	8,80	5,50	2,83	2,00	36,35795
	3150	7,50	3,90	8,90	5,60	6,70	2,40	9,70	9,30	6,75	2,47	1,75	25,86236
	4000	12,90	2,90	7,00	6,20	5,60	2,40	4,60	9,30	6,36	3,22	2,28	35,83591
	5000	7,90	2,10	7,90	8,40	4,70	3,80	5,00	7,00	5,85	2,14	1,51	25,83262
	6400	4,70	2,60	7,20	5,70	5,50	3,60	3,80	9,10	5,28	1,97	1,39	26,4024
	8000	7,00	3,00	4,20	6,00	6,20	3,60	3,10	9,00	5,26	2,00	1,42	26,91485
	10000	7,40	1,70	5,60	2,70	2,90	1,90	2,20	4,70	3,64	1,92	1,36	37,26503

После того как посчитаны доверительные интервалы для каждой частоты составлена сводная таблица 3.4 для каждой частоты вращения подшипника и для каждой частоты настройки фильтра.

Табл. 3.4. Значения доверительных интервалов для каждой настройки фильтра

Настройка фильтра, Гц	20	40	60	51	102,5	212,5	416	Среднее
2000	27,96	49,21	19,11	20,77	53,88	62,70	74,24	43,98
2500	36,36	48,96	24,13	21,27	58,29	72,36	78,97	48,62
3150	25,86	46,71	23,75	91,83	60,00	60,15	46,13	50,63
4000	35,84	43,82	25,16	25,62	36,87	67,94	65,18	42,92
5000	25,83	34,04	36,02	33,20	53,17	63,99	58,19	43,49
6400	26,40	35,92	15,41	20,84	25,21	52,50	57,17	33,35
8000	26,91	39,10	30,01	27,55	24,49	67,58	62,53	39,74
10000	37,27	41,69	34,00	27,49	21,30	75,89	79,75	45,34

Как видно из таблицы 3.4 оптимальной частотой настройки фильтра является 6400 Гц, так как значения доверительных интервалов при такой настройке наименьшие.

3.2. НАСТРОЙКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения проводятся при помощи виброизмерительного прибора «АГАТ-М». Для проведения замеров необходимо настроить прибор. Измерение спектра огибающей производится только с помощью измерительного входа А. Основные параметры замера представлены на рисунке 3.2.

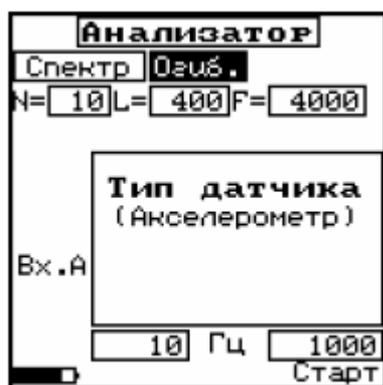


Рисунок 3.2 Параметры замера

На рисунке 3.2 представлены основные поля и поля настроек замера.

Основные поля:

- «тип измерений» - спектр
- «представление типа измерений» - огибающая

Поля настроек замера (слева направо, сверху вниз):

- «количество усреднений» «N=» - вводится требуемое количество усреднений измерений в диапазоне от 0 до 100 (0-без усреднений)
- «количество линий спектра» «L=» - выбирается требуемое разрешение спектра. Допустимые значения: 100, 200, 400 и 800 линий
- «частота настройки» (Гц) «F=» - выбирается верхняя граница 1/3 октавного фильтра. Допустимые значения: 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6400, 8000, 10000, 12500, 16000, 20000, 25000
- «нижняя частота» (Гц) – выбирается нижняя граница частотного диапазона анализа. Допустимые значения: 0, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000
- «верхняя частота» (Гц) - выберите верхнюю границу частотного диапазона анализа. Допустимые значения: 100, 200, 500, 1000, 5000, 10000.

После того как произведена настройка, прибор выполняет заданное количество усреднений измерений. На экране отображается спектр, который соответствует текущему измерению. После проведения измерений, на экране отображается усредненный спектр.

3.3. ОЦЕНКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

3.3.1. Методика выполнения измерений МВИ ВНИИП.002-04

Проведены измерения виброскорости трех подшипников шариковых радиальных однорядных 210, которые используются в дальнейших исследованиях. Измерения проводятся на стенде входного контроля подшипников качения компании «ДИАМЕХ» СП-180М. Значения

виброскорости измеряются в трех диапазонах частот и с изменением стороны приложения осевой нагрузки (табл.3.5).

Табл. 3.5. Данные входного контроля подшипников 210

Диапазон частот	Виброскорость, дБ						Пороговые значения по РД ВНИИП.038-08
	П1		П2		П3		
	сторона 1	сторона 2	сторона 1	сторона 2	сторона 1	сторона 2	
Низкие частоты 50-300 Гц, L	77,9	77,1	81,9	80,2	75,3	77,1	87
Средние частоты 300-1800 Гц, М	71,6	73,6	73	72,4	75,7	70,7	83
Высокие частоты 1800-10000 Гц, Н	80,1	80,3	81,6	78,8	73,8	73,2	88

Примечание: Так как исследуемые подшипники не имеют маркировки, обозначающей их вибрационный разряд, то рекомендуемые нормы совпадают с нормами вибрационного разряда «Ш». Нормы уровня вибрации радиальных однорядных шариковых подшипников серии диаметров 2 (Приложении 2, рис.П.2.4).

Полученные уровни виброскорости (табл. 3.5) не превышают пороговых значений для радиальных однорядных подшипников серии диаметров 2 и пригодны для использования их в качестве экспериментальных образцов [5].

3.3.2. Спектр огибающей

Для каждого из трех исследуемых подшипников проведен замер спектра огибающей. Для этого произведена настройка прибора следующими параметрами:

- «Тип измерений» – спектр;
- «Представление типа измерений» – огибающая;
- «Количество усреднений» – $N = 15$;
- «Количество линий спектра» – $L = 800$;
- «Частота настройки 1/3 октавного фильтра» – $F = 6400$ Гц; (см.п.3.1.)
- «Единицы измерения» (измеряемый параметр) – m/s^2 (виброускорение);
- «Нижняя частота» – 0 Гц;
- «Верхняя частота» – 500 Гц.

При настройке прибора выбираются граничные частоты 0–500 Гц, так как нас интересует узкий диапазон значений, охватывающий частоты

дефектов подшипников качения (п. 1.1, п. 2.2) и их гармоники. Для спектра огибающей необходимо рассматривать гармоники в количестве, не менее двух, что позволит сделать вывод о степени развития дефекта в подшипнике качения.

Данные о глубине модуляции на частотах, характерных для подшипника 210, по спектрам огибающих (Приложение 3) представленные в таблице 3.6.

Таблица 3.6. Максимальные значения глубины модуляции на частотах подшипника

Частота, Гц	Глубина модуляции, %		
	П1	П2	П3
Перекатывания тел качения по наружному кольцу $F_H = 122,786$	1,4	2	1,5
Перекатывания тел качения по внутреннему кольцу $F_B = 177,214$	2,4	2,8	2,9
Вращения тел качения $F_{TK} = 79,956$	14,7	4	1,8
Вращение сепаратора $F_C = 12,279$	3,8	3,6	1,4
Частота вращения ротора $F_1 = 30$	2,8	1,6	7,3

В таблице 3.6 представлены значения модуляций каждого из трех исследуемых подшипников. Желтым цветом выделены максимальные значения модуляций на каждой из подшипниковых частот. Анализ полученных данных проведен, основываясь на данных представленных в таблице 1.1, показал, что полученные величины модуляции не превышают пороговое значение 18 %. Это значит, что подшипники без дефектов и пригодны для работы.

Проведя 10 замеров спектра огибающей подшипника качения без дефектов на телах качения, были получены значения модуляций на подшипниковых частотах не превышающие 15 %, максимальное значение глубины модуляции наблюдалось на частоте вращения ротора F_1 и составило 12,8 %. Согласно таблице 1.1. подшипник является пригодным к работе.

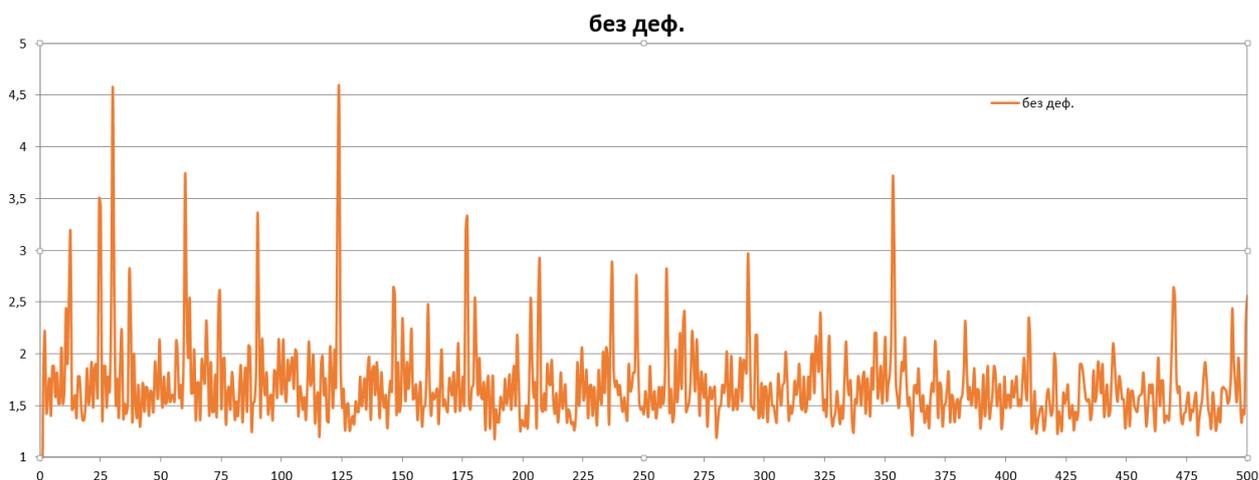


Рисунок 3.3. Средние значения глубины модуляции подшипника без дефекта

На рисунке 3.3 представлены средние значения величины модуляции, полученные при проведении измерений спектра огибающей подшипника без дефекта.

Для выявления взаимозаменяемости компонентов подшипника проведена разборка двух подшипников и заменено тело качения из одного подшипника на тело качения из другого подшипника. Далее проведены по 10 замеров спектров огибающей подшипника с собственным и замененным телом качения. Сравним значения модуляции на подшипниковых частотах, значения которой приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Средние значения глубины модуляции подшипника после операции «разборка-сборка»

Подшипник	Величина модуляции на подшипниковых частотах, %				
	F1	Fc	Fтк	Fв	Fн
С собственным ТК	4,4	3,2	1,6	3,3	4,5
С замененным ТК	4,9	3,1	1,8	1,7	5,2
Разница	0,5	0,1	0,2	1,6	0,7

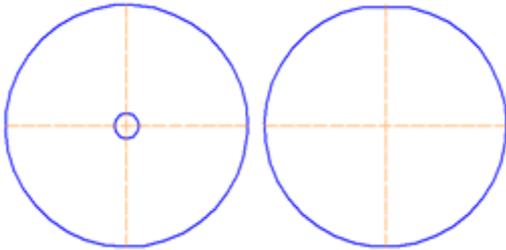
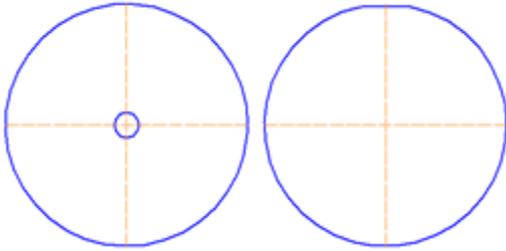
Как видно из таблицы 3.7 значения глубины модуляции изменяются не более чем на 1,6. Полученную разницу с таблицей 3.6 можно объяснить влиянием действий, проведенных над подшипником, а именно, высверливание заклепок, последующая разборка и сборка. Максимальное значение глубины модуляции получается на частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу 122,786Гц и составляет 5,2%, значения глубины модуляции попадают в допусковое значение и не превышают 15 %. Подшипник после замены шарика работает в пределах допустимых норм.

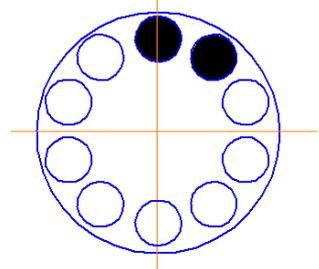
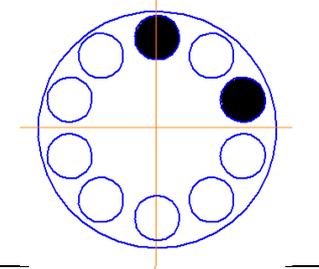
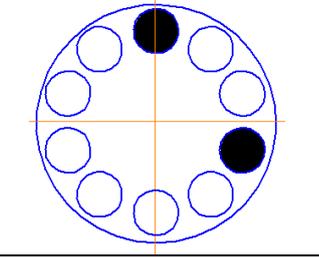
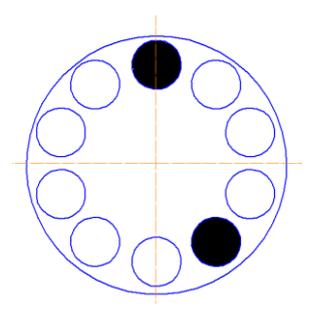
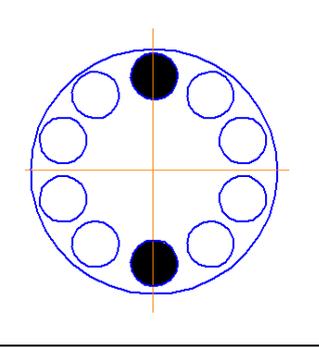
3.4. ВЫЯВЛЕНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

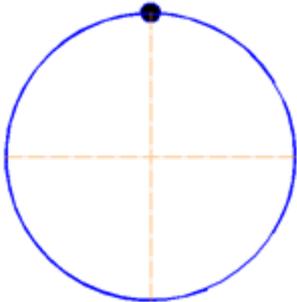
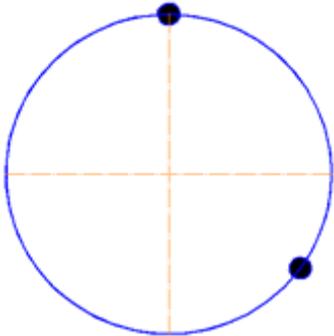
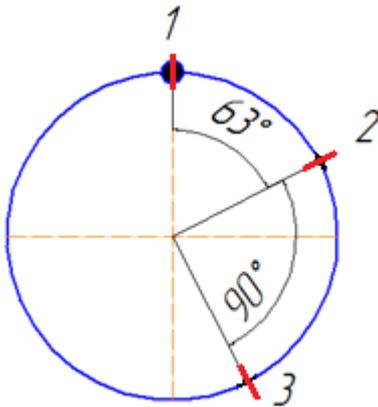
Перед проведением эксперимента составлен план (табл. 3.8), который состоит из следующих частей:

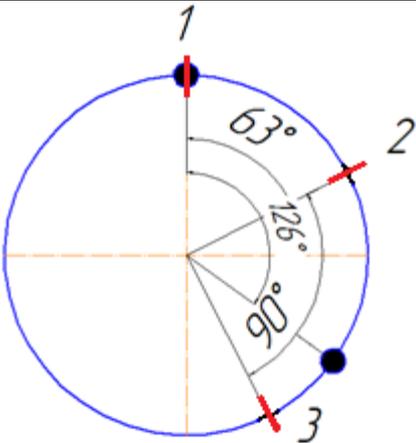
1. Проверка взаимозаменяемости элементов подшипников.
2. Проведение замеров спектра огибающей подшипника качения, меняя ориентацию прокручивания (стороны подшипника).
3. Разборка подшипника и нанесение дефекта на тело качения (шарик), последующая сборка и повторение п. 2.
4. Проведение замеров с изменением количества и места расположения дефектных тел качения.
5. Замена подшипника. Разборка подшипника и нанесение дефекта на внутреннее кольцо, последующая сборка и повторение п. 2.
6. Разборка подшипника и нанесение второго дефекта на внутреннее кольцо, последующая сборка и повторение п. 2.
7. Замена подшипника. Разборка подшипника и нанесение дефекта на наружное кольцо, последующая сборка и повторение п. 2.
8. Разборка подшипника и нанесение второго дефекта на наружное кольцо, последующая сборка и повторение п. 2.

Табл. 3.8. Диагностические признаки дефектов подшипника качения

№ эксп.	Дефект	Вид дефекта и расположение дефектного тела качения	Диагностический признак
1.	Дефект тела качения		
1.1.	Точечный дефект Ø0,5 мм		$mF_{TK} \pm k2F_c$ $k = 1, 2;$ $m = 2, 4, 6$ $mF_{TK} + kF_c$ $k = 1 \dots 5;$ $m = 2, 4, 6.$
1.2.	Точечный дефект Ø1 мм		<p style="text-align: center;">Характерной частотой является вторая гармоника от частоты вращения ТК</p>

1.3.	X-образный дефект с длиной штрихов 15 мм.			(наблюдается рост величины глубины модуляции с увеличением размера дефекта)
1.4. Дефект двух тел качения				
1.4.1.	Соседние тела качения			$mF_{\text{ТК}} \pm kF_c$ $k = 1, 2;$ $m = 1, 2, 4, 5, 6.$
1.4.2.	Через одно тело качения			$mF_{\text{ТК}} \pm k2F_c$ $k = 1, 2;$ $m = 2, 4, 6$
1.4.3.	Через два тела качения			$mF_{\text{ТК}} \pm k2F_c$ $k = 1, 2$ $m = 2, 4, 6$ $mF_{\text{ТК}} + kF_c$ $k = 1 \dots 5;$ $m = 2, 4, 6.$
1.4.4.	Через три тела качения			
1.4.5.	Противоположные тела качения (через четыре тела качения)			$mF_{\text{ТК}} \pm k2F_c$ $k = 1, 2;$ $m = 2, 4, 6$ $mF_{\text{ТК}} \pm kF_c$ $k = 1 \dots 5;$ $m = 2, 4, 6.$

2.	Дефект внутреннего кольца		
2.1.	Одинарный		$mF_B \pm k2F_1$ $k = 1, 2;$ $m = 1, 2$ Характерной частотой является частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу
2.2.	Двойной (через 4,5 тела качения - 126°) ¹		$mF_B \pm k2F_1$ $k = 1, 2;$ $m = 1, 2.$ Характерной частотой является вторая гармоника от частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу.
3.	Дефект наружного кольца		
3.1.	Одинарный (замеры производятся при установке датчика в 1, 2 и 3 положения - последовательно) ²		$mF_{TK} + kF_C$ $k = 1 \dots 5;$ $m = 2, 4, 6$

3.2.	Двойной (через 4,5 тела качения - 126°) ¹ , (замеры производятся при установке датчика в 1, 2 и 3 положения - последовательно) ²		
------	--	--	--

Примечание:

1. Если один шарик на дефекте, то другой дефект между шариками.
2. Принимаются разные положения установки датчика на наружном кольце, т.к. наружное кольцо не вращается – от положения установки датчика зависит интенсивность вибрации.

3.5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для проведения эксперимента необходимо определить значения основных подшипниковых частот, которые попадают в ряд значений, получаемых при помощи виброанализатора и сравнить их с расчетными значениями. Результат сравнения представлен в таблице 3.9.

Табл. 3.9. Сравнение расчетных и экспериментальных значений подшипниковых частот (подшипник 210, частота вращения внутреннего кольца 30 Гц)

Обозначение частоты	Расчетное значение, Гц	Экспериментальное значение, Гц	Погрешность, %
F _c	12,28	12,50	2
F _{ТК}	79,96	80,00	0,1
F _Н	122,79	123,75	0,3
F _В	177,12	176,88	0,001

Как видно из таблицы 3.9 различия между экспериментальными данными и расчетными не превышают 2%.

После проведения экспериментов, описанных ниже, составлена таблица 3.10 в которой указывается максимальная величина модуляции, полученная в каждом из них.

Таблица 3.10. Максимальные результаты экспериментов

№ эксп.	Величина модуляции на подшипниковых частотах, %							
	F _c	F ₁	F _{ТК}	F _Н	2F _{ТК}	F _В	4F _{ТК}	6F _{ТК}
без дефекта	5,7	12,8	1,7	8,2	3,4	4,9	2,6	2,2

1.1.	8,9	4,9	3,6	4,8	4,2	6	10	2,5
1.2.	7,5	7,9	3	6,4	16,7	4,9	5,4	1,9
1.3.	21,5	7,3	20,8	18,5	105,2	2,4	104,1	84,4
1.4.1.	15	4,3	12,8	5,2	28,1	5,2	23,4	17,9
1.4.2.	5,7	9,8	9	6,9	40,4	4,9	30,6	22
1.4.3.	5,4	7,1	3,5	5	10,7	4,8	10,9	16,7
1.4.4.	5,4	9,7	18,8	15,3	15,9	4,5	6,2	8,9
1.4.5.	12,9	5,8	9,2	16,7	88,2	5	78,2	62
2.1.	6,6	26,3	3,7	6,8	18,8	53,7	12,5	8,2
2.2.	7,8	26,6	4,9	4,2	15,9	26,5	24,2	13,2
3.1.	8,6	4,8	6,6	7,7	16,6	2,3	18,5	14,6
3.2.	7,1	6,5	10,6	5,6	20,4	2,4	14,3	17,4

Примечание: Желтым цветом обозначены значения модуляции на основных частотах и их гармониках, на которых проявляется влияние дефекта.

После проведения замеров рассчитаны средние значения величины модуляции для исключения случайной ошибки измерений. Данные о средних значениях занесены в таблицу.

Табл. 3.11. Средние результаты экспериментов

№ эксп.	Величина модуляции на подшипниковых частотах, %							
	Fc 12,5	F1 30	Fтк 80	Fн 122,786	2Fтк 160	Fв 176,88	4Fтк 320	6Fтк 480
без дефекта	3,2	4,4	1,6	4,5	2,5	3,3	1,6	1,6
1.1.	4,5	3,3	2	3	2	4,4	1,8	2,7
1.2.	4,5	4,5	2	3	2,5	3,8	1,8	2,3
1.3.	13,7	3,8	11,22	6,2	89,7	1,4	43,5	65,2
1.4.1.	6,3	3,2	3,6	3,8	6,5	3,6	3,4	5,6
1.4.2.	3,3	3,4	3,1	3,5	4,5	3,7	3	3,3
1.4.3.	3,9	3,5	2	2,7	5,4	3,4	3,3	4,8
1.4.4.	3,9	4,8	2,4	4,5	4	2,9	2,5	4,7
1.4.5.	4,8	3,2	2,7	4,8	10,6	3,6	5,3	8,8
2.1.	3,7	13	2,7	3,8	8	24,4	6,8	6,5
2.2.	3,6	13	3,4	3,2	5,9	12,6	6,9	5,9
3.1.	3	3	3,3	3,9	10,3	1,6	10,9	8,6
3.2.	4,8	3	3,9	3,4	9,7	1,6	10,2	9,4

Примечание: Желтым цветом обозначены значения модуляции на основных частотах и их гармониках, на которых проявляется влияние дефекта.

3.5.1. Дефект тела качения

3.5.1.1. Точечный дефект $\varnothing 0,5$ мм

Точечный дефект $\varnothing 0,5$ мм нанесен на одно из тел качения исследуемого подшипника качения, проведено 10 замеров спектра огибающей.

Максимальное значение глубины модуляции наблюдается на частоте вращения сепаратора F_c и составляет 8,9 %. Значение модуляции возросло на частоте 320 Гц ее величина равняется 10%.

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график рис. 3.4.

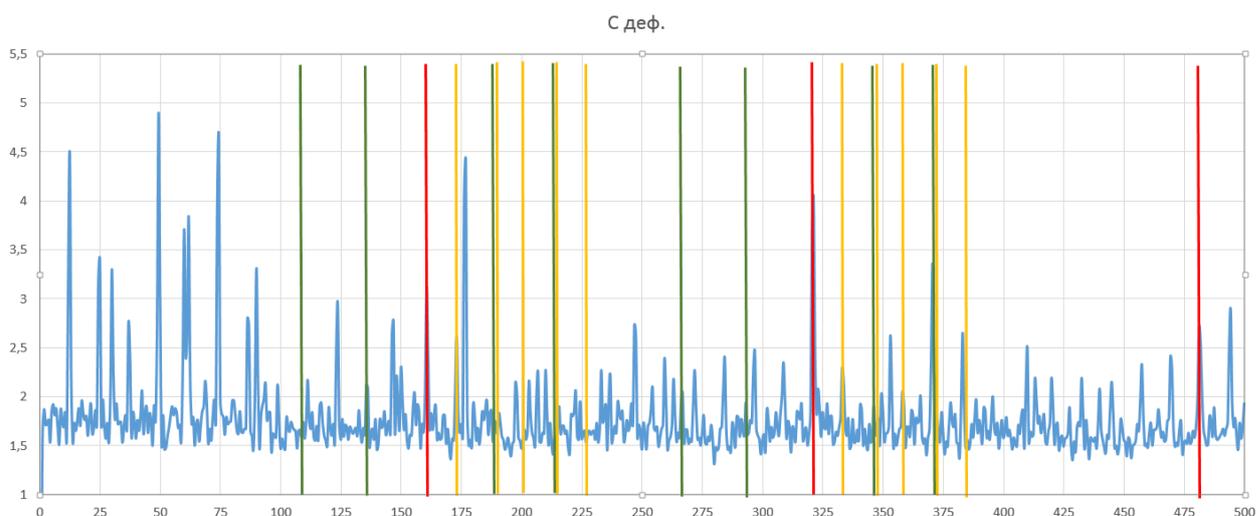


Рисунок 3.4. Средний спектр огибающей подшипника с точечным дефектом $\varnothing 0,5$ мм

На рисунке 3.4 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции возросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии) и $2F_c$ (зеленые линии). Частоты, модулированные, $2F_c$ располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от частоты вращения тел качения и ее гармоник. Частоты, модулированные F_c располагаются только справа от частоты вращения тел качения и ее гармоник (положительное направление).

В таблице 3.12 приведены результаты сравнения значений модуляции вторых гармоник частот подшипника со значениями модуляции на некоторых частотах подшипника.

Табл. 3.12. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	4,5	3,3	0,7	3,2	1,4
F_{TK}	2	3,1	1,6	1,6	1,3

160	3	3,7	1,2	2,5	1,2
320	3,7	–	–	1,6	2,3
480	2	–	–	1,6	1,3

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.12 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в среднем на 30 %. Так, например, величина модуляции на частоте вращения сепаратора увеличилась в 1,4 раза, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 2,3 раза.

Как видно из таблицы величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце увеличивается в двух случаях: при частоте вращения тел качения $F_{тк}$ и ее второй гармонике 160 Гц (в полтора раза), и при частоте 160 Гц и ее второй гармонике 320 Гц (в 2,5 раза). На второй гармонике от частоты сепаратора величина модуляции снижается в 0,7 раз.

3.5.1.2. Точечный дефект $\varnothing 1$ мм

Размер точечного дефекта увеличен до $\varnothing 1$ мм и проведено 10 замеров спектра огибающей.

Максимальное значение наблюдается на второй гармонике от второй гармоники частоты перекачивания тел качения $F_{тк}$, на частоте 320 Гц и равняется 17,1 %. Так же увеличивается значение величины модуляции на второй гармонике частоты $F_{тк}$ 160 Гц и составляет 16,7%, на частоте 420 Гц 15,8%.

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график рис. 3.5.

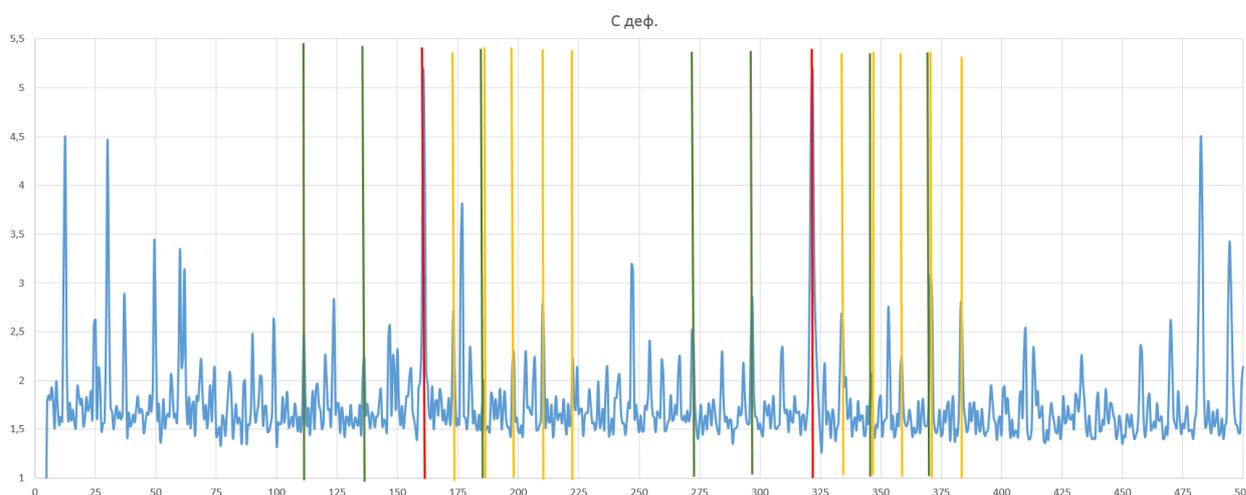


Рисунок 3.5. Средний спектр огибающей подшипника с точечным дефектом $\varnothing 1$ мм

На рисунке 3.5 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции возросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии) и $2F_c$ (зеленые линии). Частоты, модулированные $2F_c$, располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от частоты вращения тел качения и ее гармоник. Частоты, модулированные F_c располагаются только справа от частоты вращения тел качения и ее гармоник (положительное направление).

Табл. 3.13. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	4,5	2,6	0,6	3,2	1,4
$F_{тк}$	1,9	5,2	2,7	1,6	1,2
160	5,2	3	0,6	2,5	1,3
320	3	–	–	1,6	2,3
480	1,6	–	–	1,6	1,3

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.13 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли. Так, например, величина модуляции на частоте вращения сепаратора увеличилась практически в полтора раза, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 2 раза, величина модуляции на частоте вращения тел качения $F_{тк}$ также увеличилась практически в полтора раза.

Как видно из таблицы величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце увеличивается при частоте вращения подшипников $F_{тк}$ и ее второй гармоники 160 Гц (в полтора раза). При частоте 160 Гц и ее второй гармоники 320 Гц, а на второй гармоники от частоты сепаратора снижается в половину.

3.5.1.3. X-образный дефект

На тело качения нанесен X-образный дефект дефектом с длиной штрихов 15 мм и проведено 10 замеров спектра огибающей подшипника качения.

На частоте вращения тел качения $F_{тк}$ 80 Гц максимальная глубина модуляции составляет 20,8% и ее гармоник на частотах 160, 320, 480 Гц значения модуляции превышают 90%

После проведения замеров были получены данные, по которым были рассчитаны средние значения и построен график рис.3.6.

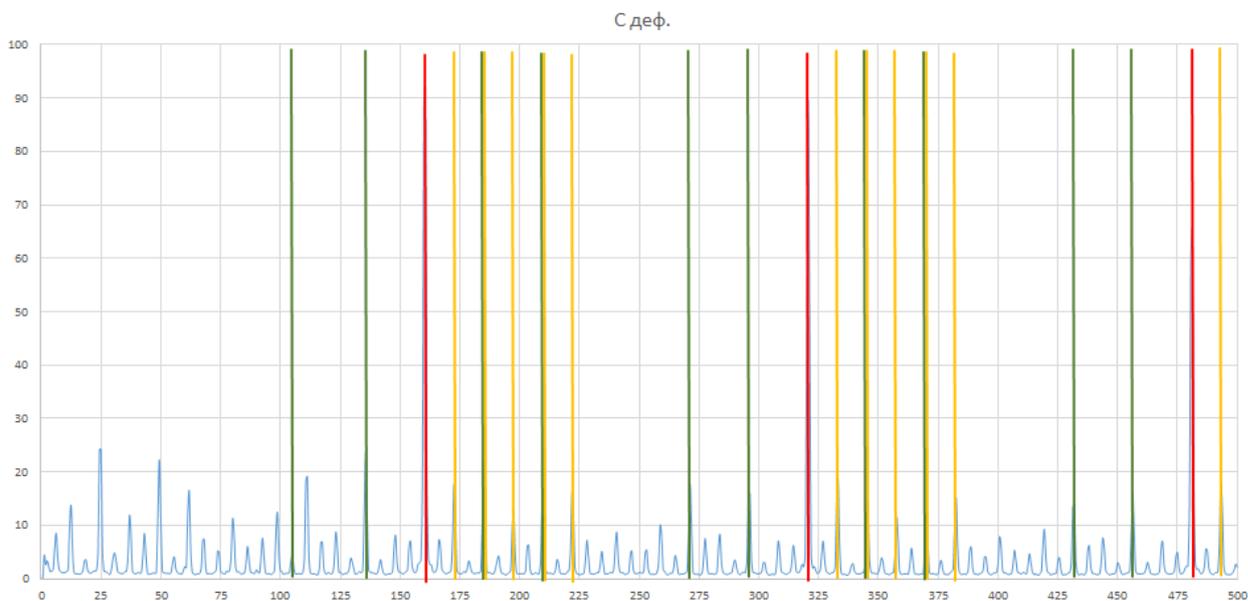


Рисунок 3.6. Средний спектр огибающей подшипника с X-образным дефектом с длиной штрихов 15 мм.

На рисунке 3.6 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии) и $2F_c$ (зеленые линии). Частоты, модулированные, $2F_c$ располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от частоты вращения тел качения и ее гармоник. Частоты, модулированные F_c располагаются только справа от частоты вращения тел качения и ее гармоник (положительное направление). Также на рисунке 3.6 видны пики частот «забор» с шагом равным $1/2 F_c$.

Табл. 3.14. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции					
	F_i , %	$2 * F_i$, %	$2 * F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k	
F_c	13,7	24,2	1,8	3,2	4,3	
$F_{тк}$	11,2	92,1	8,2	1,6	6,9	
160	92,1	89,7	0,9	2,5	37	
320	89,7	–	–	1,6	55,4	
480	65,2	–	–	1,6	41,8	

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.14 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на частоте вращения тел качения $F_{тк}$ увеличилась в 6,9 раза, а величина

модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 55,4 раза.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце увеличивается в двух случаях: при частоте вращения подшипников F_{TK} и ее второй гармонике 160 Гц (в 8 раз), и второй гармонике от частоты сепаратора (в 2 раза). Величина модуляции при частоте 160 Гц и ее второй гармонике 320 Гц практически не изменяется.

Основываясь на результатах экспериментов 1.1, 1.2, 1.3 (табл.3.8) можно вывести следующий диагностический признак объединяющий их в одну группу:

$$mF_{TK} \pm k2F_c \quad k = 1, 2; m = 2, 4, 6$$

$$mF_{TK} + kF_c \quad k = 1 \dots 5; m = 2, 4, 6.$$

где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

Табл.3.15 Значения величины глубины модуляции в зависимости от уровня развития дефекта.

Частота	Эксперимент		
	1.1	1.2	1.3
F_c	4,5	4,5	13,7
F_{TK}	2	1,9	11,2
160	3	5,2	92,1
320	3,7	3	89,7
480	2	1,6	65,2

Как видно из таблицы 3.15 в зависимости от уровня развития дефекта возрастает величина модуляции. Особенный рост наблюдается на второй гармонике от частоты вращения тел качения 160 Гц. Отсюда следует, что по данной частоте можно определить уровень развития дефекта ТК

3.5.1.4. Дефект двух тел качения

3.5.1.4.1. Соседние тела качения

Наносим точечные дефекты $\varnothing 1$ мм на два тела качения и располагаем их рядом друг с другом рис 3.7, и проводим 10 замеров спектра огибающей.

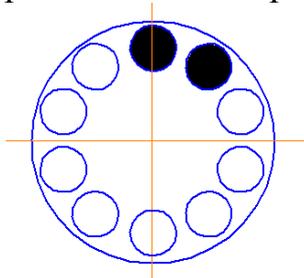


Рисунок 3.7. Расположение дефектных ТК

Наблюдается увеличение глубины модуляции на частоте вращения сепаратора F_c , и максимальное значение составляет ровно 15%. Так же

наблюдается увеличение глубины модуляции на гармониках частоты вращения тел качения $F_{тк}$. Максимальное значение наблюдается на второй гармонике от частоты тел качения, на частоте 160 Гц, и равняется оно 28,1 %. На второй гармонике от второй гармоники частоты перекачивания тел качения $F_{тк}$, на частоте 320 Гц и равняется 23,4 %, на частоте 420 Гц 17,9%.

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график рис. 3.8.

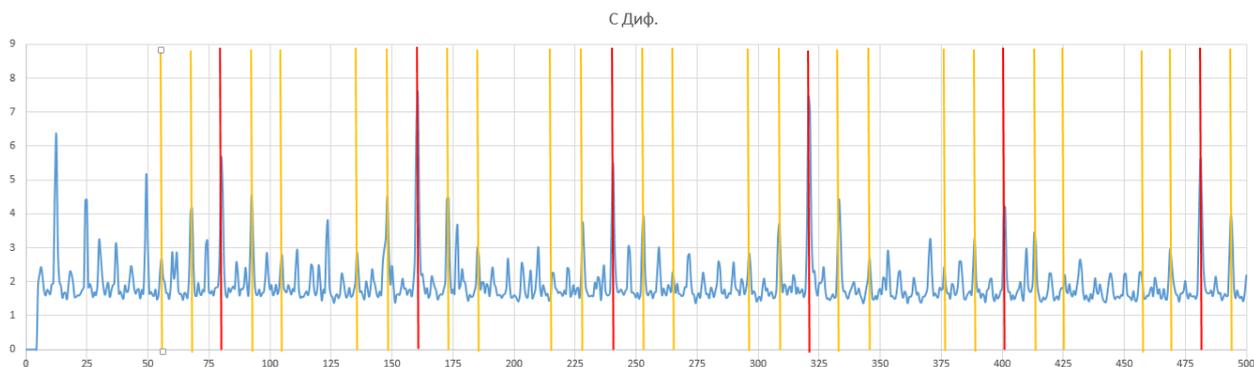


Рисунок 3.8. Средний спектр огибающей подшипника с двумя соседними дефектными ТК

На рисунке 3.8 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии). Частоты, модулированные F_c располагаются по обе стороны от частоты вращения тел качения и ее гармоник. Также на рисунке 3.8 видны пики частот «забор» с шагом равным $1/2 F_c$.

Табл. 3.16. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	6,3	4,4	0,7	3,2	2
$F_{тк}$	5,6	7,6	1,4	1,6	3,5
160	7,6	7,4	1	2,5	3
320	7,4	—	—	1,6	4,6
480	5,6	—	—	1,6	3,5

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.16 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли. Так, например, величина модуляции на частоте вращения тел качения $F_{тк}$ увеличилась в 3,5 раза, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 4,6 раза.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце увеличивается в двух случаях: при частоте вращения подшипников F_{TK} и ее второй гармонике 160 Гц (в полтора раза). Вторая гармоника от частоты сепаратора (в 2 раза). Величина модуляции при частоте 160 Гц и ее второй гармонике 320 Гц практически не изменяется.

Основываясь на результате эксперимента 1.4.1 можно вывести следующий диагностический признак.

$$mF_{TK} \pm kF_C \quad k = 1, 2; m = 1, 2, 4, 5, 6.$$

Где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту

3.5.1.4.2. Через одно тело качения

Положение дефектных тел качения изменено (рис. 3.9), и проведено 10 замеров спектра огибающей.

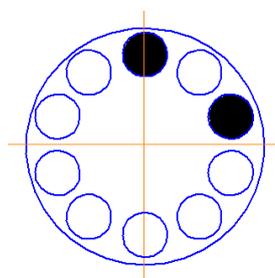


Рисунок 3.9. Расположение дефектных ТК

Наблюдается увеличение глубины модуляции на гармониках частоты вращения тел качения F_{TK} . Максимальное значение наблюдается на второй гармонике, на частоте 160 Гц и равняется оно 40,4 %. На второй гармонике от второй гармоники частоты перекатывания тел качения F_{TK} , на частоте 320 Гц и равняется 30,6 %, на частоте 480 Гц 22,8%. Так же наблюдается превышение уровней виброскорости на средних и высоких частотах (рис. 3.10).



Рисунок 3.10. Уровни виброскорости

После проведения замеров получены данные, по которым рассчитаны средние значения и построен график рис. 3.11.

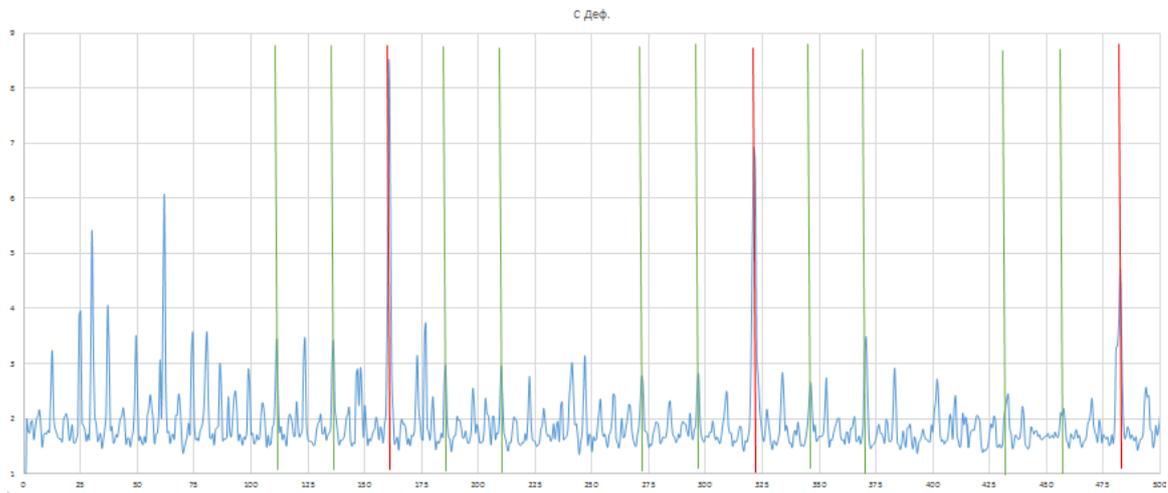


Рисунок 3.11. Средний спектр огибающей подшипника с двумя дефектными ТК, расположенными через одно тело качения

На рисунке 3.11 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами $2F_c$ (зеленые линии).

Частоты, модулированные $2F_c$, располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от гармоник частоты вращения тел качения. Также на рисунке 3.11 видны пики частот «забор» с шагом равным $1/2 F_c$.

Табл. 3.17. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	3,2	4	1,3	3,2	1
F_{TK}	3,6	8,5	2,4	1,6	2,3
160	8,5	6,9	0,8	2,5	3,4
320	6,9	—	—	1,6	4,3
480	4	—	—	1,6	2,5

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.17 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на частоте вращения тел качения F_{TK} увеличилась в 2,3 раз, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 4,3 раза.

Величина модуляции на частоте 320 Гц больше чем на частоте 160 Гц в 2,4 раза.

Основываясь на результате эксперимента 1.4.2 можно вывести следующий диагностический признак.

$$mF_{TK} \pm k2F_c \quad k = 1, 2; m = 2, 4, 6$$

Где m – номер гармоники от основной частоты;
 k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

3.5.1.4.3. Через два тела качения

Положение дефектных тел качения изменено (рис. 3.12), и проведено 10 замеров спектра огибающей.

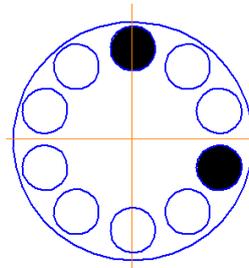


Рисунок 3.12. Расположение дефектных ТК

Наблюдается увеличение глубины модуляции на гармониках частоты вращения тел качения F_{TK} . Максимальное значение наблюдается на второй гармонике, на частоте 160 Гц и равняется оно 15,6 %. На второй гармонике от второй гармоники частоты перекатывания тел качения F_{TK} , на частоте 320 Гц и равняется 10,9 %, на частоте 480 Гц 16,7%. При двух замерах значения виброскорости на средних частотах превышали допускаемые величины (рис. 3.13), но на спектре не наблюдалось скачков модуляции (рис. 3.14).



Рисунок 3.13. Уровни виброскорости

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график рис. 3.14.

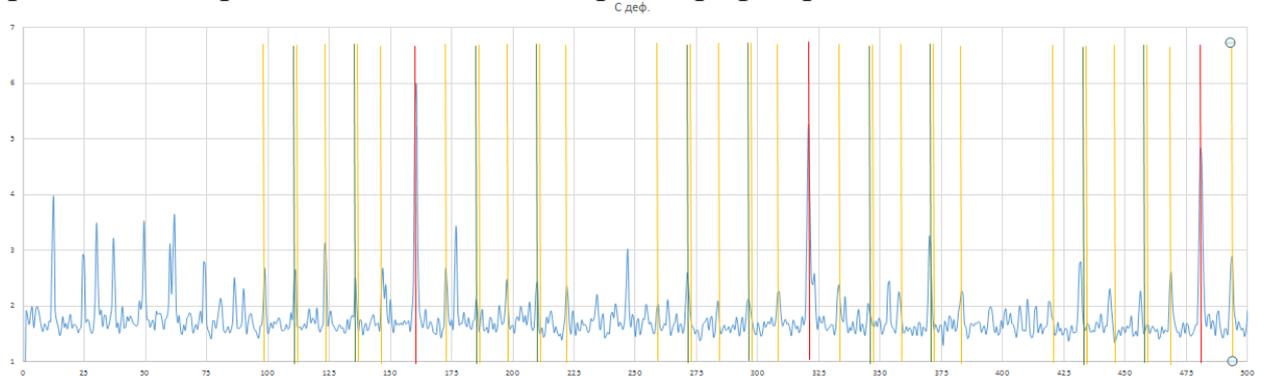


Рисунок 3.14. Средний спектр огибающей подшипника с двумя дефектными ТК, расположенными через два тела качения

На рисунке 3.14 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии) и $2F_c$ (зеленые линии). Частоты, модулированные F_c и $2F_c$, располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от гармоник частоты вращения тел качения.

Табл. 3.18. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	3,9	2,9	0,7	3,2	1,2
F_{TK}	2,2	6	2,7	1,6	1,4
160	6	5,3	0,9	2,5	2,4
320	5,3	–	–	1,6	3,3
480	4,8	–	–	1,6	3

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.18 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на частоте вращения тел качения F_{TK} увеличилась в 1,4 раз, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 3,3 раза.

Величина модуляции на частоте 320 Гц больше чем на частоте 160 Гц в 2,5 раза.

Основываясь на результате эксперимента 1.4.3 можно вывести следующий диагностический признак.

$$mF_{TK} \pm k2F_c \quad k = 1, 2; m = 2, 4, 6$$

$$mF_{TK} + kF_c \quad k = 1 \dots 5; m = 2, 4, 6.$$

Где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

3.5.1.4.4. Через три тела качения

Снова изменяем положение дефектных тел качения (рис. 3.15), и проводим 10 замеров спектра огибающей.

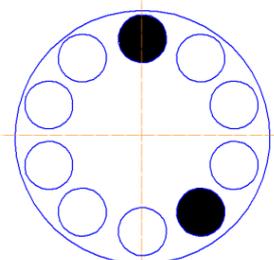


Рисунок 3.15. Расположение дефектных ТК

Наблюдается увеличение глубины модуляции на частоте вращения тел качения $F_{тк}$ и ее гармониках. Максимальное значение составляет 18,8 % на частоте $F_{тк}$. На второй гармонике, на частоте 160 Гц величина модуляции снижается и составляет 15,9 %, на частоте 320 Гц 12 %, на частоте 480 Гц составляет 9,2 %.

Наблюдается существенный скачок величины глубины модуляции на частоте перекачивания тел качения по внутреннему кольцу подшипника F_n и ее значение составляет 15,3 %.

При проведении одного из замеров наблюдалось превышение вибрационных норм на средних частотах.



Рисунок 3.16. Уровни виброскорости

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график рис. 3.17.

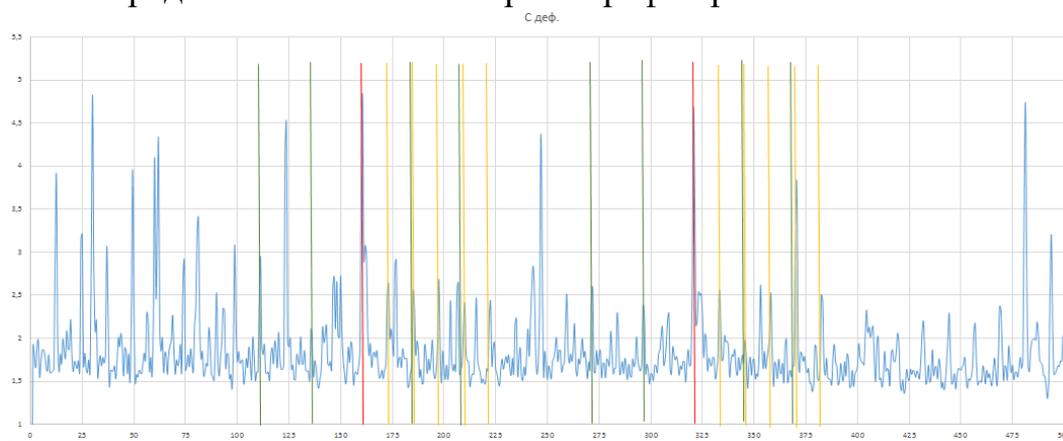


Рисунок 3.17. Средний спектр огибающей подшипника с двумя дефектными ТК, расположенными через три тела качения

На рисунке 3.17 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии) и $2F_c$ (зеленые линии). Частоты, модулированные $2F_c$ располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от частоты вращения тел качения и ее гармоник. Частоты, модулированные F_c располагаются только справа от частоты вращения тел качения и ее гармоник (положительное направление).

Табл. 3.19. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	3,9	3,2	0,8	3,2	1,2
F_{TK}	3,4	4,8	1,4	1,6	2,2
160	4,8	4,7	1	2,5	1,9
320	4,7	–	–	1,6	2,9
480	4,7	–	–	1,6	2,9

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.19 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на частоте вращения тел качения F_{TK} увеличилась в 2,2 раза, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась в 2,9 раза.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце увеличивается при частоте вращения подшипников F_{TK} и ее второй гармонике 160 Гц (в 1,4 раз). Величина модуляции при частоте 160 Гц и ее второй гармонике 320 Гц практически не изменяется.

Основываясь на результатах эксперимента 1.4.4 можно вывести следующих диагностический признак:

$$mF_{TK} \pm k2F_c \quad k = 1, 2; m = 2, 4, 6$$

$$mF_{TK} + kF_c \quad k = 1 \dots 5; m = 2, 4, 6.$$

Где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту

3.5.1.4.5. Противоположные тела качения (через четыре тела качения)

Расположение дефектных тел качения изменено (рис. 3.18), и проводим 10 замеров спектра огибающей.

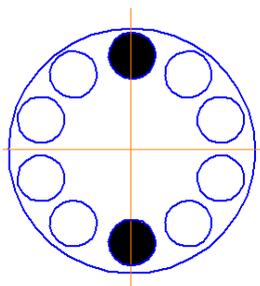


Рисунок 3.18. Расположение дефектных ТК

Наблюдается увеличение глубины модуляции на гармониках частоты вращения тел качения F_{TK} . Максимальное значение наблюдается на второй

гармонике, на частоте 160 Гц и равняется оно 88,2 %. На второй гармонике от второй гармоники частоты перекачивания тел качения F_{TK} , на частоте 320 Гц и равняется 78,2 %, на частоте 480 Гц 62%.

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график (рис. 3.19).

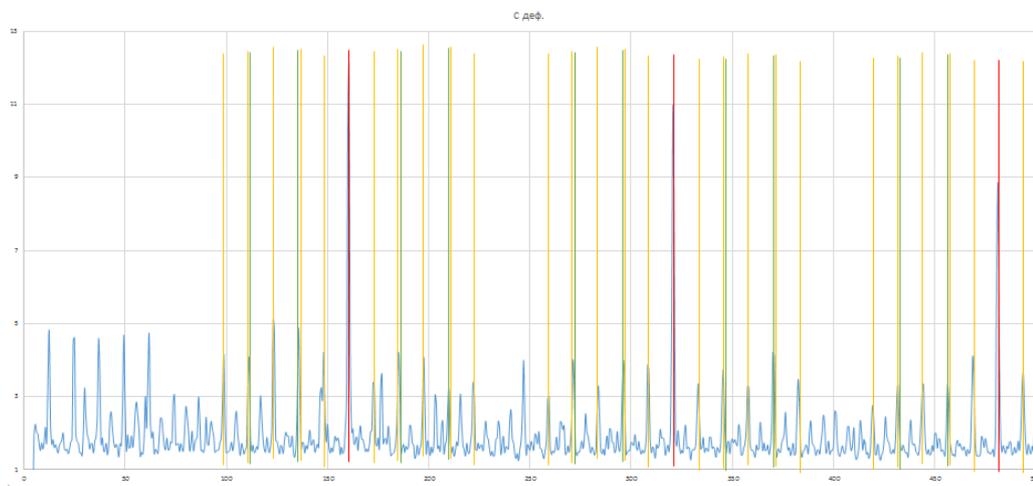


Рисунок 3.19. Средний спектр огибающей подшипника с двумя дефектными ТК, расположенными через четыре тела качения

На рисунке 3.19 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Вторая гармоника от частоты вращения тел качения 160 Гц, вторая гармоника от второй гармоники 320 и гармоника на частоте 480 модулированы частотами F_c (оранжевые линии) и $2F_c$ (зеленые линии).

Частоты, модулированные $2F_c$, располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от гармоник частоты вращения тел качения. Частоты, модулированные F_c располагаются только справа от частоты вращения тел качения и ее гармоник (положительное направление). Также на рисунке 3.20 видны пики частот «забор» с шагом равным $1/2 F_c$.

Табл. 3.20. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	4,8	4,6	1	3,2	1,5
F_{TK}	2,7	2,5	1	1,6	1,7
160	2,5	11	4,5	2,5	1
320	11	—	—	1,6	6,9
480	8,8	—	—	1,6	5,5

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.20 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на частоте вращения тел качения F_{TK} увеличилась в 1,7 раз, а величина модуляции второй гармоники от второй гармоники частоты вращения тел качения (320 Гц) увеличилась практически в 7 раз.

Величина модуляции при частоте 160 Гц и ее второй гармонике 320 Гц увеличивается в 4,5 раза.

Основываясь на результате эксперимента 1.4.5 можно вывести следующий диагностический признак:

$$mF_{TK} \pm kF_c \quad k = 1, 2; m = 2, 4, 6$$

$$mF_{TK} \pm kF_c \quad k = 1 \dots 5; m = 2, 4, 6.$$

где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

Проведем сравнение результатов, полученных во время экспериментов 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, 1.4.5 и 1.2 (так как в ряде экспериментов с двумя дефектными ТК размер дефекта не превышал $\varnothing 1$ мм), для этого составим таблицу 3.21 .

Табл. 3.21 Значения величины глубины модуляции в зависимости от расположения дефектных ТК.

Частота	Эксперимент					
	1.2.	1.4.1.	1.4.2.	1.4.3.	1.4.4.	1.4.5.
F_c	4,5	6,3	3,2	3,9	3,9	4,8
F_{TK}	1,9	5,6	3,6	2,2	3,4	2,7
160	5,2	7,6	8,5	6	4,8	2,5
320	3	7,4	6,9	5,3	4,7	11
480	1,6	5,6	4	4,8	4,7	8,8

Как видно из таблицы 3.21 в зависимости от положения дефектных ТК возрастает величина модуляции на разных характерных частотах. Так, например, для эксперимента 1.4.2 (дефектные ТК расположены через одно) характерной является вторая гармоника от второй гармоник вращения тел качения 160 Гц, а для эксперимента 1.4.5 (дефектные ТК расположены друг напротив друга).

3.5.2. Дефект внутреннего кольца

3.5.2.1. Одинарный

Так как комплектующие подшипников взаимозаменяемы, использован подшипник №2 для проведения дальнейших исследований. Нанесен на внутреннем кольце подшипника дефект и проведены 10 замеров.

Так как дефект получился смещенным относительно плоскости симметрии кольца рассмотрены отдельно получившиеся значения для разных сторон подшипника. Введены дополнительные условные обозначения сторонам подшипника, та, на которую дефект оказывает наименьшее влияние называется «С1», вторая же «С2».

При проведении замеров на С1 наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты вращения тел качения 160 Гц, ее значение составило 18 %, на частоте 320 Гц 12,4 %, на частоте 480 Гц 12 %.

При проведении замеров на С2 наблюдалось увеличение глубины модуляции на частотах:

$F_1=30$ Гц максимальное значение составило 26,3 %;

$F_B=176,88$ Гц максимальное значение составило 53,7%

На второй гармонике от $F_B=353,75$ Гц максимальное значение составило 40,6 %.

Частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_B модулированная частотой вращения ротора F_1 имеет гармоники на частотах 146,88 Гц и 206,88 Гц. Максимальное значение глубины модуляции на этих частотах составляет 21,7 % и 20,3 % соответственно.

При проведении одного из замеров наблюдалось превышение вибрационных норм на средних и высоких частотах.



Рисунок 3.20. Уровни виброскорости

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график (рис. 3.21).

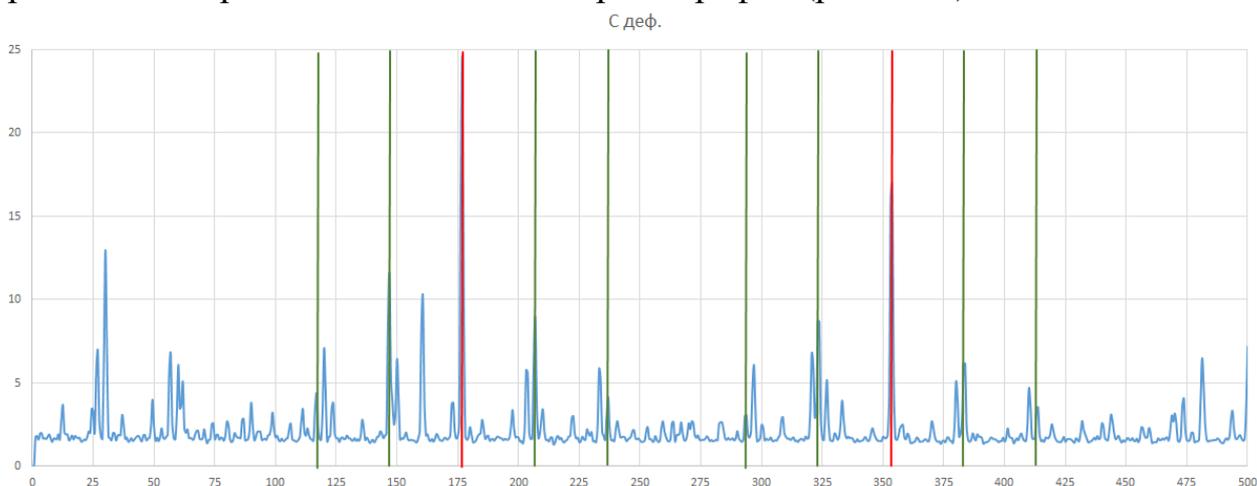


Рисунок 3.21. Средний спектр огибающей подшипника с дефектом на внутреннем кольце

На рисунке 3.21 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_B и ее вторая гармоника модулированы частотой вращения ротора F_1 (зеленые линии). Частоты, модулированные F_1 , располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_B и ее гармоники.

Табл. 3.22. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	3,7	3,3	0,9	3,2	1,2
F_B	24,2	16,4	0,7	3,3	7
353,75	16,4	–	–	2,5	6,6

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.22 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на частоте перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_B увеличилась в 7 раз.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце уменьшается при частоте перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_B и ее второй гармонике 353,75 Гц (в 0,7 раз).

Основываясь на результатах эксперимента 2.1 можно вывести следующих диагностический признак:

$$mF_B \pm k2F_1 \quad k = 1, 2; m = 1, 2.$$

Где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

3.5.2.2. Двойной (через 3,5 тела качения - 126°)

Нанесем второй дефект на внутреннее кольцо, в положении смещенное на 126 градусов, для обеспечения следующей ситуации. Когда один дефект попадает на шарик, второй дефект находится между шариками.

При проведении замеров на $C1$ наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты вращения тел качения 160 Гц, ее значение составило 22 %, на частоте 320 Гц 24,2 %, на частоте 480 Гц 17 %.

При проведении замеров на $C2$ наблюдалось увеличение глубины модуляции на частотах:

$F_1=30$ Гц максимальное значение составило 26,6 %;

$F_B=176,88$ Гц максимальное значение составило 26,5%

Вторая гармоника от $F_B=353,75$ Гц максимальное значение составило 50,7 %.

Частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_v модулированная частотой вращения ротора F₁ имеет гармоники на частотах 146,88 Гц и 206,88 Гц. Максимальное значение глубины модуляции на этих частотах составляет 37,5 % и 33 % соответственно.

При проведении замеров наблюдалось превышение вибрационных норм на всех частотах (низких, средних, высоких).



Рисунок 3.22. Уровни виброскорости

После проведения замеров были получены данные по которым были рассчитаны средние значения и построен график (рис. 3.23).

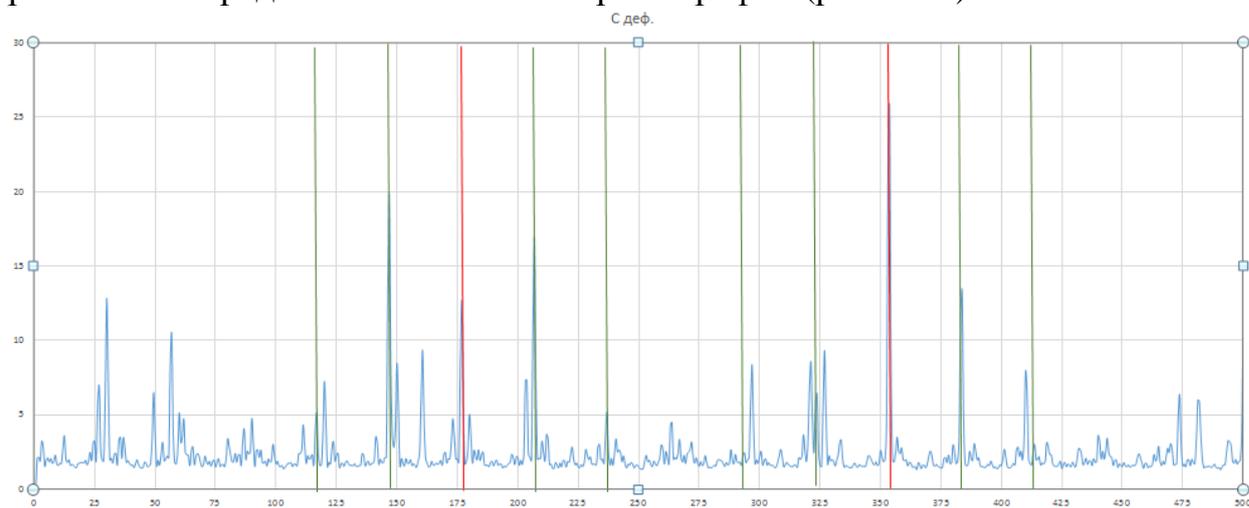


Рисунок 3.23. Средний спектр огибающей подшипника с двойным дефектом на внутреннем кольце (через 3,5 тела качения - 126°)

На рисунке 3.23 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_v и ее вторая гармоника модулированы частотой вращения ротора F₁ (зеленые линии). Частоты, модулированные F₁, располагаются как с левой стороны, так и с правой (отрицательное и положительное направления соответственно) от частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_v и ее гармоники. Также на рисунке 3.23 видны пики частот «забор» с шагом равным 1/2 F_c и F_c.

Табл. 3.23. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	3,6	3,2	0,9	3,2	1,1
F_b	12,6	25,7	2	3,3	3,8
353,75	25,7	–	–	2,5	10,2

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.23 можно сделать вывод, что значения модуляции возросли в разы. Так, например, величина модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения по внутреннему кольцу 353,75 Гц увеличилась в 10,2 раз.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце увеличивается при частоте перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_b и ее второй гармонике 353,75 Гц (в 0,7 раз).

Основываясь на результатах эксперимента 2.2 можно вывести следующих диагностический признак:

$$mF_b \pm k2F_1 \quad k = 1, 2; m = 1, 2.$$

где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

Так как диагностические признаки у замеров экспериментов 2.1 и 2.2 получились одинаковыми проведем сравнение результатов для этого составим таблицу 3.24.

Табл. 3.24. Значения величины глубины модуляции в зависимости от расположения дефектных ТК.

Частота	Эксперимент	
	2.1.	2.2
F_c	3,7	3,6
F_b	24,2	12,6
353,75	16,4	25,7

Как видно из таблицы 3.24 в зависимости от количества дефектов на внутреннем кольце изменяется характерная частота. Для одного дефекта характерной частотой является частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу F_b , а для двух дефектов ее вторая гармоника равная 353,75 Гц.

3.5.3. Дефект наружного кольца

3.5.3.1. Одинарный (замеры производятся при установке датчика в 1, 2 и 3 положения - последовательно)

Используем подшипник №3 для проведения дальнейших исследований. Нанесем на наружном кольце подшипника дефект и проведем 30 замеров, изменяя места установки датчика рисунок 3.24.

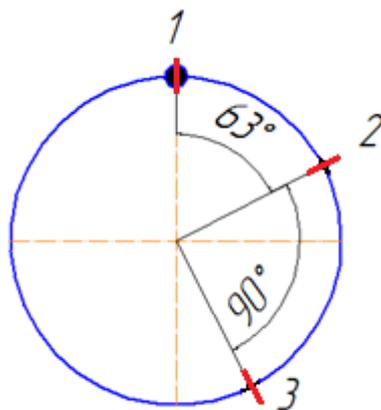


Рисунок.3.24. Места установки датчика на наружном кольце относительно положения дефекта

Так как дефект получился смещенным относительно плоскости симметрии кольца рассмотрены отдельно получившиеся значения для разных сторон подшипника. Введены дополнительные условные обозначения сторонам подшипника, та, на которую дефект оказывает наименьшее влияние называется «С1», вторая же «С2».

Рассмотрим по отдельности для каждой стороны каждую точку измерения.

Сторона 1 точка 1.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 13,2 %, на частоте 320 Гц 13,4 %.

Сторона 1 точка 2.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 16,6 %, на частоте 320 Гц 17,7 %.

Сторона 1 точка 3.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты вращения тел качения 160 Гц, ее значение составило 10,4 %, на частоте 320 Гц 13,9 %.

Сторона 2 точка 1.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 13,6 %, на частоте 320 Гц 13,8 %, на частоте 480 Гц 14,6 %.

Сторона 2 точка 2.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 18 %, на частоте 320 Гц 18,5 %, на частоте 480 Гц 14,3 %.

Сторона 2 точка 3.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 11,8 %, на частоте 320 Гц 12,1%, на частоте 480 Гц 11,1 %.

На частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу $F_B=176,88$ Гц и ее модулированных частотах не наблюдается увеличения глубины модуляции.

После проведения замеров получены данные, по которым рассчитаны средние значения и построен график (рис. 3.25).

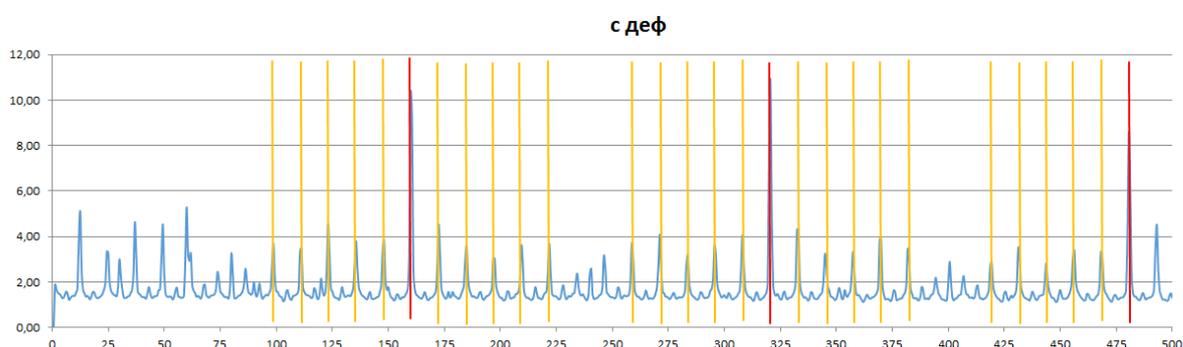


Рисунок 3.25. Средний спектр огибающей подшипника с дефектом на наружном кольце

На рисунке 3.25 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, на частоте 320 Гц, на частоте 480 Гц.

На частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу $F_B=176,88$ Гц и ее модулированных частотах не наблюдается увеличения глубины модуляции.

Также на рисунке 3.25 видны пики частот «забор» с шагом равным $1/2 F_c$ и F_c .

Табл. 3.25. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	F_i , %	$2 \cdot F_i$, %	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	3	3,3	1,1	3,2	1
F_H	3,3	2,8	0,8	1,6	2
246,88	2,8	–	–	2,5	1,1
F_{TK}	3,3	10,3	3,1	1,6	2
160	10,3	10,9	1,1	2,5	4,1
320	10,9	–	–	1,6	6,8
480	8,6	–	–	1,6	5,3

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.25 можно сделать вывод, что значения модуляции увеличились. Так, например, величина модуляции на частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу F_n увеличилась в 2 раза.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце уменьшается при частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу F_n и ее второй гармонике 246,88 Гц (в 0,8 раз).

Основываясь на результатах эксперимента 3.1 можно вывести следующих диагностический признак:

$$mF_{TK} + kF_C \quad k = 1 \dots 5; m = 2, 4, 6.$$

где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

3.5.3.2. Двойной (через 3,5 тела качения - 126°), (замеры производятся при установке датчика в 1, 2 и 3 положения - последовательно)

Нанесем на наружном кольце подшипника второй дефект и проведем 30 замеров, изменяя места установки датчика рисунок 3.26.

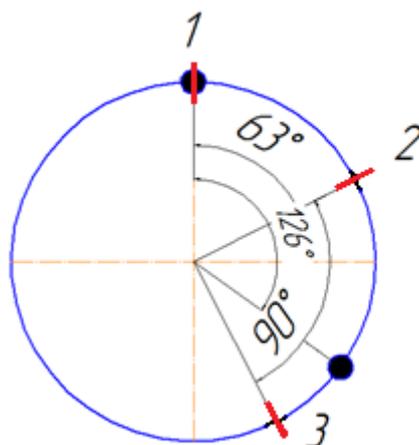


Рисунок 3.26. Места взаимного расположения дефектов и положений установки датчика на наружном кольце

Сторона 1 точка 1.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 10,7 %, на частоте 320 Гц 12,9 %, на частоте 480 Гц. 16%.

Сторона 1 точка 2.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 14,7 %, на частоте 320 Гц 14,3 %, на частоте 480 Гц. 22,2%.

Сторона 1 точка 3.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 10,4 %, на частоте 320 Гц 13,7 %, на частоте 480 Гц 15,3%.

Так же наблюдалось превышение вибрационных норм на высоких частотах.



Рисунок 3.27. Уровни виброскорости

Сторона 2 точка 1.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 9,8%, на частоте 320 Гц 9,6 %, на частоте 480 Гц 10,3 %.

Сторона 2 точка 2.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 20,4 %, на частоте 320 Гц 13,8 %, на частоте 480 Гц 11 %.

Сторона 2 точка 3.

Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, ее значение составило 15,9 %, на частоте 320 Гц 13,5%, на частоте 480 Гц 10,9 %.

На частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу $F_v=176,88$ Гц и ее модулированных частотах не наблюдается увеличения глубины модуляции.

После проведения замеров были получены данные, по которым были рассчитаны средние значения и построен график (рис. 3.28).

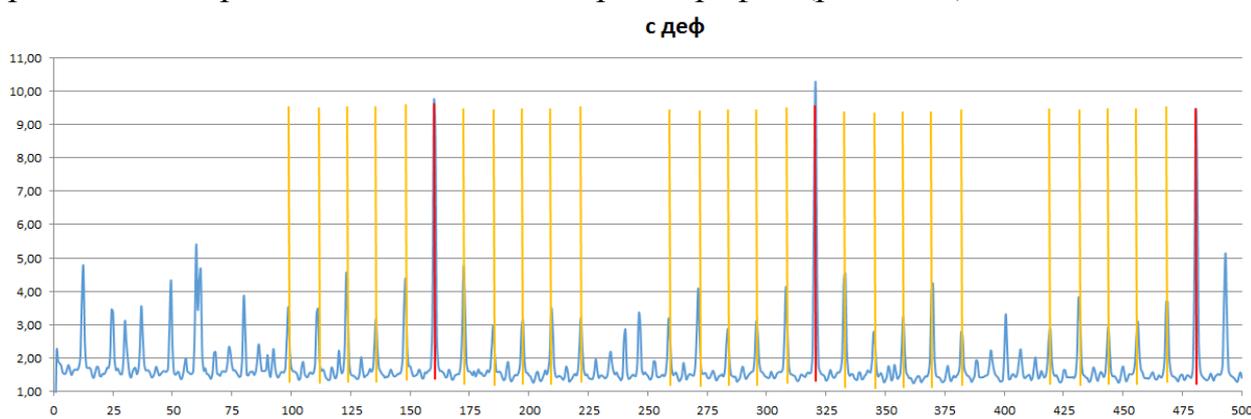


Рисунок 3.28. Средний спектр огибающей подшипника с двойным дефектом на наружном кольце

На рисунке 3.28 можно заметить следующую ситуацию: значения модуляции выросли на всех частотах. Наблюдалось увеличение глубины модуляции на второй гармонике от частоты перекачивания тел качения 160 Гц, на частоте 320 Гц, на частоте 480 Гц.

На частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу $F_v=176,88$ Гц и ее модулированных частотах не наблюдается увеличения глубины модуляции.

Также на рисунке 3.28 видны пики частот «забор» с шагом равным $1/2 F_c$ и F_c .

Табл. 3.26. Сравнение глубин модуляции на характерных частотах

Частота	Значение модуляции				
	$F_i, \%$	$2 \cdot F_i, \%$	$2 \cdot F_i / F_i$	F_k	F_i / F_k
F_c	4,8	3,4	0,7	3,2	1,5
F_H	3,4	2,9	0,9	1,6	2,1
246,88	2,9	–	–	2,5	1,2
F_{TK}	3,9	9,7	2,5	1,6	2,3
160	9,7	10,2	1,1	2,5	3,9
320	10,2	–	–	1,6	6,4
480	9,4	–	–	1,6	5,9

Примечание: F_i – частота подшипника с дефектом; F_k – частота подшипника без дефекта.

Основываясь на данных таблицы 3.26 можно сделать вывод, что значения модуляции увеличились. Так, например, величина модуляции на частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу F_H увеличилась в 2 раза.

Величина модуляции на вторых гармониках от частот, приведенных в первом столбце уменьшается при частоте перекачивания тел качения по наружному кольцу F_H и ее второй гармонике 246,88 Гц (в 0,9 раз).

Основываясь на результатах эксперимента 3.2 можно вывести следующих диагностический признак:

Основываясь на результатах эксперимента 3.2 можно вывести следующих диагностический признак:

$$mF_{TK} + kF_c \quad k = 1 \dots 5; m = 2, 4, 6.$$

где m – номер гармоники от основной частоты;

k – номер гармоники, модулирующей основную частоту.

Так как диагностические признаки у замеров экспериментов 3.1 и 3.2 получились одинаковыми проведем сравнение результатов для этого составим таблицу 3.27.

Табл. 3.27 Значения величины глубины модуляции в зависимости от расположения дефектных ТК.

Частота	Эксперимент							
	3.1				3.2			
	1	2	3	среднее	1	2	3	среднее
F _c	5,1	5	5,1	5	4,2	5,2	4,9	4,8
F _H	5,8	4,3	3,7	4,5	3,5	3,6	3,1	3,4
246,88	3,2	2,4	2,4	2,8	3,3	3	3,5	2,9
F _{TK}	3,8	3	3	3,3	3,3	4,8	4	4,2
160	11,4	11,2	10,7	10,8	7,6	11,6	9,8	9,7
320	6,6	12,5	9,4	10,9	9,2	11,6	8,8	10,2
480	9,5	8,3	7,9	8,6	8,8	9,7	9,7	9,4

Как видно из таблицы 3.27 в зависимости от количества дефектов на наружном кольце изменяется характерная частота. Для обоих случаев характерной частотой является вторая гармоника от второй гармоники частоты вращения тел качения.

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Наличие дефекта на теле качения определяется по спектру огибающей по следующим признакам:
 - Наблюдается увеличение глубины модуляции на частоте перекачивания тел качения $F_{т.к.}=80$ Гц и ее модулированных частотах, а именно 160 Гц, 320 Гц, 480 Гц.
 - Глубина модуляции превышает пороговое значение 15%.
2. Максимальное значение глубины модуляции наблюдается, когда два дефектных тела качения располагаются друг напротив друга.
3. Наличие дефекта на внутреннем кольце подшипника определяется по спектру огибающей по следующим признакам:
 - Наблюдается увеличение глубины модуляции на частоте перекачивания тел качения по внутреннему кольцу $F_{в}=176,88$ Гц, на второй гармонике от $F_{в}=353,75$ Гц.
 - Частота перекачивания тел качения по внутреннему кольцу $F_{в}$ модулированная частотой вращения ротора F_1 имеет гармоники на частотах 146,88 Гц и 206,88 Гц, где наблюдается увеличение глубины модуляции.
 - Глубина модуляции превышает пороговое значение 15 %.
4. При наличии двух дефектов на внутреннем кольце наблюдается схожая картина.
5. О наличии дефекта подшипника качения может сказать превышение вибрационных норм на разных частотах: низких, средних, высоких.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Зуеву Александру Витальевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедение
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость ресурсов принять как среднюю по г. Томску, заработную плату принять по окладу ТПУ
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные организации принять 27,1 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	...
2. Разработка устава научно-технического проекта	...
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	...
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	...

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Сегментирование рынка	
2. Оценка конкурентоспособности технических решений	
3. Оценка конкурентоспособности технических решений	
4. Диаграмма FAST	
5. Матрица SWOT	
6. График проведения и бюджет НТИ	
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ	
8. Потенциальные риски	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОСГН	Хаперская Алена Васильевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Зуев А.В.		

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

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

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет внедрить продукт рынком, и какова будет его востребованность.

Цель написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» заключается в проведении планирования научно – исследовательских работ. Для того чтобы решить задачи, связанные с данным разделом ВКР необходимо:

- Определить структуру работ в рамках научного исследования;
- Определить трудоемкость выполнения работ;
- Разработать график проведения научного исследования;

Объектом экономического исследования в рамках написания диссертации является методика проведения входного контроля подшипников качения.

4.2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе данного этапа работы был проанализирован рынок на наличие методик входного контроля подшипников качения, предназначенных для широкого комплекса технологического оборудования применяемого в данной отрасли. По результатам анализа было выявлено, что на рынке наблюдается дефицит универсальных методик проверки подшипников качения, в основном к каждому оборудованию, на котором производится входной контроль подшипников, подбирается собственная и уникальная методика проведения входного контроля.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти области, в которых продвижение нового продукта будет наименее трудоемким.

Целевым рынком для исследования являются компании, занимающиеся вибродиагностикой подшипников качения.

Для сравнения эффективности результатов исследования необходимо провести сравнение продукции компаний ОАО «ВНИИПП», НПЦ «Динамика», ООО «НТЦ «Завод Балансировочных машин».

Табл.4. 1 – Карта сегментирования рынка.

		Вид потребляемой продукции		
		Разрабатываемая методика	Методика 1	Методика 2
Компании	Крупные	+	-	+
	Средние	+	-	-
	Мелкие	+	+	-

По данной карте сегментирования видно, что исследование является актуальным и впишется в российский рынок. Результаты исследования будут интересны как крупным, так и средним и мелким компаниям.

4.3. АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

Основным конкурентом является методика, основанная на измерении пик факторов. Она получила широкое распространение, из-за своей простоты и доступности

Табл.4. 2 «Оценочная карта для сравнения конкурентных решений»

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,1	5	4	0,5	0,4
Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	0,4	0,4
Простота в эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5
Энергоэкономичность	0,15	3	2	0,45	0,3
Надежность	0,08	3	4	0,24	0,32
Уровень шума	0,05	2	2	0,1	0,1

Безопасность	0,08	4	4	0,32	0,32
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,09	5	5	0,45	0,45
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	4	0,4	0,4
Цена	0,05	5	3	0,25	0,15
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	2	0,5	0,2
ИТОГО	1	44	39	4,01	3,54

Как видно из таблицы, по техническим критериям обе методики имеют достаточно равные параметры. При этом разрабатываемая методика выигрывает по производительности труда и незначительно проигрывает надежности. Однако, по экономическим критериям разрабатываемая методика оказывается лучше конкурента.

Из всего этого можно сделать вывод, что разрабатываемая методика является более дешевой, ее использование на предприятии экономически более оправдано.

FAST – анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

В качестве объекта FAST-анализа выступает разрабатываемая методика. Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в таблице 3.

Табл.4.3 «Описание главной, основных, и вспомогательных функций»

Наименование процесса	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранги функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
Методика входного контроля подшипников	-	Основная методика для проведения контроля подшипников	X		

Разработка методики	1	Написание методики		X	
Стенд для измерения	1	Проведение замеров		X	
Режимы для измерения	2	Правильный подбор параметров для проведения замеров		X	
Корректировка методики	1	Нахождение ошибок и их исправление			X

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции. Строим матрицу смежности функции таблица 4.

Табл. 4.4 «Матрица смежности функций»

	Написание методики	Проведение замеров	Правильный подбор параметров для проведения замеров	Нахождение ошибок и их исправление
Написание методики	=	>	>	>
Проведение замеров	>	=	<	<
Правильный подбор параметров для проведения замеров	=	>	=	>
Нахождение ошибок и их исправление	<	<	<	=

Преобразуем матрицу смежности в матрицу количественных соотношений функций.

Табл.4.5 «Матрица количественных соотношений функций»

	Написание методики	Проведение замеров	Правильный подбор параметров для проведения замеров	Нахождение ошибок и их исправление	Итог
Написание методики	1	1,5	1,5	1,5	5,5

Проведение замеров	1,5	1	0,5	0,5	4,5
Правильный подбор параметров для проведения замеров	1	1,5	1	1,5	5
Нахождение ошибок и их исправление	0,5	0,5	0,5	1	2,5
					$\Sigma = 17,5$

Определяем значимость каждой функции:

Написание методики: $5,5/17,5 = 0,31$;

Проведение замеров: $4,5/17,5 = 0,26$;

Правильный подбор параметров для проведения замеров: $5/17,5 = 0,29$;

Нахождение ошибок и их исправление: $2,5/17,5 = 0,14$;

Табл. 4.6 «Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования»

Наименование детали	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-ч	Стоимость материала, руб.	Зарплата, руб.	Себестоимость, руб.
Методика входного контроля подшипников	-	Основная методика для получения заданной детали	-	-	-	-	-
Разработка методики	1	Написание методики	-	2	300	360	660
Стенд для измерения	1	Проведение замеров	-	2	2000	290	2290
Режимы для измерения	2	Правильный подбор параметров для проведения замеров	-	0,5	150	180	330

Корректировка методики	1	Нахождение ошибок и их исправление	-	1	150	180	330
							$\Sigma = 3610$

Определим относительные затраты на функцию:

Написание методики: $660/3610 = 0,18$;

Проведение замеров: $2290/3610 = 0,63$;

Правильный подбор параметров для проведения замеров: $330/3610 = 0,09$;

Нахождение ошибок и их исправление: $330/3610 = 0,09$;

Информация об объекте, собранная в рамках предыдущих стадий, обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы (Рис. 4.1):

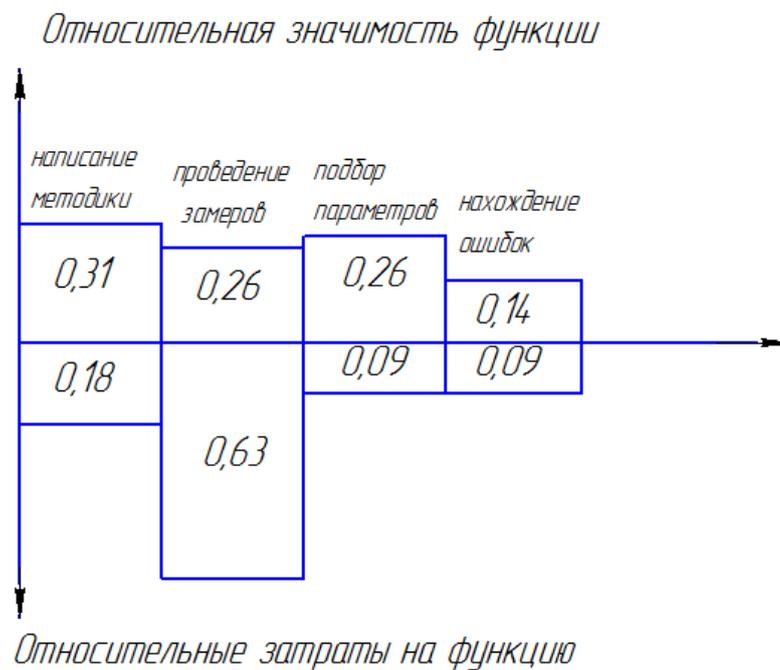


Рисунок 4.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

Согласно вышеприведенной диаграмме, видно рассогласование по 1, 2, 3, 4 пунктам. Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги:

- оптимизации технических параметров;
- оптимизации параметров надежности;

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем:

- сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта;
- повышения качества при сохранении уровня затрат;
- уменьшения затрат при сохранении уровня качества;
- сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня;
- повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

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.

Табл.4.7 – Матрица SWOT.

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>C1. Универсальность и простота разработанной методики</p> <p>C2. Востребованность компаниями различных уровней и размеров.</p>	<p>Сл.1. Дорогое оборудование для проведения лабораторных исследований</p> <p>Сл.2. Низкое качество исследуемых подшипников</p>
<p>Возможности:</p> <p>V1. Низкая конкуренция на отечественном рынке</p> <p>V2. Увеличение спроса в виду низкой стоимости и простоты методики.</p>	<p>V1B2C1C2 высокий спрос в связи с возможностью применения в компаниях различных размеров и различным финансовым состоянием.</p>	<p>V2Сл.2 Возможно наличие погрешностей в методике связанное с некачественными образцами</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Спрос на методику может быть недостаточно высоким из-за неизвестности в широких кругах.</p> <p>У2. Финансовый кризис.</p>	<p>У1С1У2С2 Применение методики в узких кругах (университеты). Низкая цена на саму методику.</p>	<p>У2Сл.2. В условиях финансового кризиса цена на оборудование негативно скажется на уровне продаж.</p>

На основании SWOT-анализа составляем интерактивную матрицу проекта, дающую общее представление о возможных вариантах стечения благоприятных и негативных факторов.

Табл.4.8 – Интерактивная матрица проекта.

	Сильные стороны проекта	
Возможности проекта	С1	С2
В1	+	+
В2	+	-
	Слабые стороны проекта	
Возможности проекта	Сл1	Сл2
В1	-	-
В2	-	+
	Сильные стороны проекта	
Угрозы	С1	С2
У1	+	-
У2	-	+
	Слабые стороны проекта	
Угрозы	Сл1	Сл2
У1	-	-
У2	-	+

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 разработке данной методики возможны два варианта исполнения табл.10.

Табл.4.10 – Варианты исполнений

	1	2
А. По измеряемому параметру	Виброскорость	Виброускорение
Б. Средство измерения	«Агат–М»	Стенд СП180

Варианты решения задачи:

А1Б1 – исполнение 1.

А2Б2 – исполнение 2.

4.4. Структура работ в рамках научного исследования

Написание данного параграфа проводится в целях составления перечня этапов и работ, предусмотренных научным исследованием, и последующим распределением исполнителей по установленным видам работ.

Табл.4.11 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей.

Основные этапы	№ раб.	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Проведение патентных исследований	Студент
	4	Выбор направления исследования	Руководитель
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение расчетов	Студент
	7	Построение математической модели подшипника качения	Студент
	8	Проведение экспериментов с математической моделью.	Студент
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка результатов проведенных экспериментов	Студент
Апробация и корректировка результатов	10	Определение пригодности подшипников	Студент
	11	Создание дефектов подшипников	Студент
	12	Проведение экспериментов	Студент
	13	Формирование и выдвижение гипотез	Студент
	14	Проверка гипотез экспериментом	Студент
	15	Корректировка полученных данных	Студент
Проведение анализа полученных данных	16	Проведение анализа	Студент
	17	Формирование методики	Студент
Оформление отчета	18	Составление пояснительной записки	Студент

4.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Трудовые затраты являются одним из основных факторов, влияющих на стоимости разработки, исходя из этого можно сделать вывод, что важным моментом будет определение трудоемкости работ каждого участника научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспериментальным путем и характеризуется такой величиной, как человеко–дни и она носит вероятностный характер, это обусловлено зависимостью от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож i} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5}, \quad (4.1)$$

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

$t_{min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы, чел. – дн.;

$t_{max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i – ой работы, чел. – дн.

Табл.4.12- Допустимые значения трудоемкости выполнения работы.

Основные этапы	№. раб.	Содержание работы	Минимальная трудоемкость (t_{min}), чел. – дн.	Максимальная трудоемкость (t_{max}), чел. – дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1	3
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	1	3
	3	Проведение обзора аналогов	3	7
	4	Выбор направления исследования	0,5	1
	5	Календарное планирование работ по теме	1	2
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение расчетов	4	7
	7	Построение математической модели подшипника качения	7	14
	8	Проведение экспериментов с математической моделью.	1	2
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка результатов проведенных экспериментов	1	2
Апробация и корректировка результатов	10	Определение пригодности подшипников	2	3
	11	Создание дефектов подшипников	4	5
	12	Проведение экспериментов	3	5
	13	Формирование и выдвижение гипотез	2	5

	14	Проверка гипотез экспериментом	5	7
	15	Корректировка полученных данных	4	6
Проведение анализа полученных данных	16	Проведение анализа	5	10
	17	Формирование методики	2	4
Оформление отчета	18	Составление пояснительной записки	2,5	4

Табл.4.13 - Ожидаемые значение трудоемкости выполнения работы.

Основные этапы	№раб.	Содержание работы	Ожидаемая трудоемкость ($t_{ож}$), чел. – дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	1,8
Выбор направления исследования	2	Подбор и изучение материалов по теме	1,8
	3	Проведение обзора аналогов	4,6
	4	Выбор направления исследования	0,7
	5	Календарное планирование работ по теме	1,4
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение расчетов	5,2
	7	Построение математической модели подшипника качения	9,8
	8	Проведение экспериментов с математической моделью.	1,4
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка результатов проведенных экспериментов	1,4
Апробация и корректировка результатов	10	Определение пригодности подшипников	2,4
	11	Создание дефектов подшипников	4,4
	12	Проведение экспериментов	3,8
	13	Формирование и выдвижение гипотез	3,2
	14	Проверка гипотез экспериментом	5,8
	15	Корректировка полученных данных	4,8
Проведение анализа полученных данных	16	Проведение анализа	7
	17	Формирование методики	2,8
Оформление отчета	18	Составление пояснительной записки	3,1
ИТОГО:			65,4

Учитывая полученные значения ожидаемой трудоемкости выполнения работ, произведем расчет продолжительности каждой работы в рабочих днях

T_p , учитывающей параллельность выполнения работ несколькими исполнителями по формуле (2)

$$T_{pi} = \frac{t_{ож i}}{Ч_i}, \quad (4.2)$$

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

$t_{ож i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения работы, чел. – дн.;

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

Так как работа на каждом этапе предусматривает наличие лишь одного исполнителя, можно утверждать, что величина продолжительности одной работы в рабочих дня будет равна величине ожидаемой трудоемкости ($T_{pi} = t_{ож i}$).

4.6. РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении ВКР научные темы предоставляемые студентам, как правило, имеют сравнительно небольшой объем, наиболее удобным и понятным способом построения графика выполнения выпускной квалификационной работы является диаграмма Ганта. Она представляет собой горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, которые характеризуются датой начала и датой окончания выполнения работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ, рассчитанных в параграфе 5.2. из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.3)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i – ой работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i – ой работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности, который в свою очередь определяется по формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.4)$$

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

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

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

Табл. 4.14 - Количество дней за 2018 год.

Календарные дни, дн.	Рабочие дни, дн.	Праздничные (выходные) дни, дн.
365	247	118

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48,$$

Производим расчет календарных дней по каждой работе, полученные данные округляем до целого числа и вносим в таблицу 4.5.

Табл. 4.15 - Временные показатели проведения ВКР.

Название работы	Трудоемкость работы			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел - дн	t_{max} , чел - дн	$t_{ож}$, чел - дн			
Составление и утверждение технического задания	1	3	1,8	Руководитель	2,66	3,94
Подбор и изучение материалов по теме	1	3	1,8	Студент	2,66	3,94
Проведение обзора аналогов	3	7	4,6	Студент	6,81	10,08
Выбор направления исследования	0,5	1	0,7	Руководитель	1,04	1,53
Календарное планирование работ по теме	1	2	1,4	Руководитель	2,07	3,07
Проведение расчетов	4	7	5,2	Студент	7,70	11,39
Построение математической модели подшипника качения	7	14	9,8	Студент	14,50	21,47
Проведение экспериментов с математической моделью.	1	2	1,4	Студент	2,07	3,07
Оценка результатов проведенных экспериментов	1	2	1,4	Студент	2,07	3,07
Определение пригодности подшипников	2	3	2,4	Студент	3,55	5,26
Создание дефектов подшипников	4	5	4,4	Студент	6,51	9,64
Проведение экспериментов	3	5	3,8	Студент	5,62	8,32
Формирование и выдвижение гипотез	2	5	3,2	Студент	4,74	7,01
Проверка гипотез экспериментом	5	7	5,8	Студент	8,58	12,70
Корректировка полученных данных	4	6	4,8	Студент	7,10	10,51
Проведение анализа	3	8	5	Студент	10,36	15,33
Формирование	2	4	3,8	Студент	4,14	6,13

методики						
Составление пояснительной записки	2,5	4	3,1	Студент	4,59	6,79

На основании таблицы 4.15 производим построение календарного плана-графика. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам за период времени дипломирования.

Табл. 4.16 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме.

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{кб}$ кал.д н.	Продолжительность выполнения работ																
				Февр.		Март			Апрел ь			Май			Июнь					
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2				
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	3,94																	
2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	3,94																	
3	Проведение обзора аналогов	Студент	10,08																	
4	Выбор направления исследования	Руководитель	1,53																	
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	3,07																	
6	Проведение расчетов	Студент	11,39																	
7	Построение математической модели подшипника качения	Студент	21,47																	
8	Проведение эксперимента в с математической моделью.	Студент	3,07																	
9	Оценка результатов проведенных экспериментов	Студент	3,07																	
10	Определение пригодности подшипников	Студент	5,26																	
11	Создание дефектов	Студент	9,64																	

договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу

Табл. 4.17. Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, (Зм), руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Стенд Диамех Сп180	шт.	1	1	1605100	1605100	1605100	1605100
Прибор «АГАТ-М»	шт.	1	0	306000	0	306000	0
Масло	л	5	6	110	110	550	660
Ацетон	л	1	1	100	100	100	100
Итого расходы на материалы						1911750	1605860

4.8. 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. 4.18.

Табл. 4.18. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн	Заработная плата на один чел.-дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Разработка технического задания	Руководитель	3,2	1320	4224
2	Выбор направления исследования	Студент	9,8	888	8702,4
3	Теоретические и экспериментальные исследования	Студент	3,8	888	3374,4
4	Обобщение и оценка результатов	Студент	3,2	888	2841,6

5	Апробация и корректировка результатов	Студент	3,2	888	2841,6
6	Проведение анализа полученных данных	Студент	7	888	6216
7	Оформление отчета	Студент	9,8	888	8702,4

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

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

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

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

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.7)$$

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

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (4.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл. 4.19).

Табл. 4.19. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	195

$$Z_{\text{дн1}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{24750 \cdot 10,4}{195} = 1320 \text{ руб.} - \text{заработная плата руководителя за 1 день};$$

$$Z_{\text{дн2}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{15460 \cdot 11,2}{195} = 888 \text{ руб.} - \text{заработная плата студента за 1 день.}$$

$$Z_{\text{осн1}} = 1320 \cdot 3,2 = 4224 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{осн2}} = 888 \cdot 51 = 45288 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

$$Z_{\text{зп1}} = 4224 + 844,8 = 5068,8 \text{ руб.} - \text{руководитель};$$

$$Z_{\text{зп2}} = 45288 + 9057,6 = 54345,6 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

4.9. 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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,15 – 0,2).

$$Z_{\text{доп1}} = 0,2 \cdot 4224 = 844,8 \text{ руб. – руководитель.}$$

$$Z_{\text{доп2}} = 0,2 \cdot 45288 = 9057,6 \text{ руб. – студент.}$$

4.10. ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ (СТРАХОВЫЕ ОТЧИСЛЕНИЯ)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (4.10)$$

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

На 2018 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%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табличной форме (табл. 20).

Табл. 4.20. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	4224	844,8
Студент-дипломник	45288	9057,6
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	27,1%	27,1%
Итого	1373,65+14727,66=16101,31	

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (4224 + 844,8) = 1373,65 \text{ руб. –}$$

руководитель

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 27,1\% \cdot (45288 + 9057,6) = 14727,66 \text{ руб. –}$$

студент-дипломник

4.11. 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;
- проведение испытаний для определения качества 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 4.21 представлены исполнители по токарным операциям.

Табл. 4.21. Сторонние исполнители.

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь	6	1	3

Для проведения экспериментов необходимо провести обработку 6 элементов. Заказ будет выполняться на другом заводе. Оклад токаря на другом заводе 7936 р.

На выполнение работ по отводится 2 дня.

Подсчитаем зарплату за 2 дня рабочего на другом заводе. Результаты расчетов представлены в таблице 22.

Табл. 22. Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата , руб.
Токарь	1090
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	327
Отчисления во внебюджетные фонды	1417

$$Z_{\text{дн}} = \frac{7936 \cdot 11.2}{195} = 455 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{осн}} = 455 \cdot 2 = 910 \text{ руб. (основная зарплата токаря)}$$

$$Z_{\text{зп}} = 910 + 180 = 1090 \text{ руб. (зарплата токаря)}$$

$$Z_{\text{внеб}} = 30\% \cdot 1090 = 327 \text{ руб. (внебюджетные отчисления токаря)}$$

4.12. НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ

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

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.11)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.13. 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. 4.23.

Табл. 4.23 Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	
	Исп.1	Исп.2
1. Материальные затраты НИИ	1911750	1605860
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	49512	49512
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	9902,4	9902,4
4. Отчисления во внебюджетные фонды	16101,31	16101,31
5. Контрагентские расходы	1417	1417
6. Накладные расходы	22101,23	21672,43
7. Бюджет затрат НИИ	2010783,94	1704465,14

4.14. РЕЕСТР РИСКА ПРОЕКТОВ

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Табл.4.24 «Реестр рисков»

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Поставки подшипников	Срыв поставок подшипников	2	2	Низкий	Найти надежных поставщиков	Истечение срока договора
2	Экономический	Снижение финансирования	3	3	Средний	Найти материалы по низкой цене	Экономический кризис
3	Технический	Изменение технологии	3	3	Средний	Применение более	Изменение методики

		и сборки подшипни ков				универсальн ого оборудован ия	
--	--	-----------------------------	--	--	--	--	--

4.15. 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:

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

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

Φ_{ri} – 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).

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{1704465,14}{2010783,94} = 0,85$ - интегральный финансовый показатель разработки первого исполнения.

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{1704465,14}{1704465,14} = 1$ - интегральный финансовый показатель разработки второго исполнения.

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

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 4.25.

Табл. 4.25. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	5	5
3. Настройка	0,1	5	5
4. Переналадка	0,15	5	5
5. Надежность	0,15	5	5
ИТОГО	1		

$$I_{p-исп1} = 4*0,3+5*0,3+5*0,1+5*0,15+5*0,15=4,7;$$

$$I_{p-исп2} = 5*0,3+5*0,3+5*0,1+5*0,15+4*0,15=4,85;$$

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

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} \text{ и т.д.} \quad (4.14)$$

$$I_{\text{исп1}} = \frac{4,7}{0,98} = 4,76; \quad I_{\text{исп2}} = \frac{4,85}{1} = 4,85;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности, вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.4.26) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{\text{cp}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} \quad (4.15)$$

Табл. 4.26. Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,85	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,7	4,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,76	4,85
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=0,99	Исп2/Исп1=1,02

Из таблицы 4.26 видно, что наиболее эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи по многим показателям является исполнение 2.

4.16. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом в ходе написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены: проведено сегментирование рынка, FAST-анализ, составлена матрица SWOT анализа, определены структура работ в рамках научного исследования, трудоемкость выполнения работ и разработан график проведения научного исследования, определены риски проекта, определена ресурсная (ресурсосберегающей), финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективность исследования.

5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ61	Зуев Александр Витальевич

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Стенд для входного контроля подшипников качения компании «ДИАМЕХ» СП-180М
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>Профессиональная социальная ответственность.</p> <p>1.1. Анализ факторов производственного процесса, которые может создать объект исследования.</p> <p>1.2. Анализ факторов производственного процесса, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.</p> <p>1.3. Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.</p>	<p>Анализ выявленных опасных и вредных факторов:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования. 2. Факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении рабочего. 3. Факторы, связанные со световой средой. 4. Факторы, связанные с электромагнитными полями, постоянного характера, связанного с образованием электрических зарядов. 5. Факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов. 6. Факторы, порождаемые химическими свойствами используемых веществ. 7. Факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия.
<p>2. Экологическая безопасность.</p> <p>2.1. Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду.</p> <p>2.2. Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.</p> <p>2.3. Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.</p>	<p>В разделе приведен анализ воздействия объекта исследования на литосферу и гидросферу. Источником загрязнения является смазочно-охлаждающая жидкость, промышленные масла, частицы абразивного износа.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.</p> <p>3.1. Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований.</p>	<p>Составлена последовательность действий руководящего состава и персонала при пожаре. Даны рекомендации по ликвидации ЧС</p>

<p>3.2. Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.</p> <p>3.3. Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.</p>	
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</p> <p>4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.</p> <p>4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</p>	<p>Специальные правовые нормы должны регламентироваться трудовым кодексом РФ.</p> <p>Организация рабочего места должна соответствовать требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Мезенцева И. Л.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Зуев Александр Витальевич		

Введение

В данном разделе рассматриваются вопросы, связанные с организацией рабочего места сотрудника, осуществляющего свою трудовую деятельность в лаборатории томского политехнического университета. Сотрудник осуществляет работу на стенде для входного контроля подшипников качения компании «ДИАМЕХ» СП-180М. Комплекс СП-180М позволяет измерять вибрационные характеристики подшипников при заданной нагрузке и частоте вращения в соответствии с ГОСТ Р 52545.1-2006 (ИСО 152421:2004) Подшипники качения. Возможными пользователями данного решения являются компании, занимающиеся вибродиагностикой подшипников качения такие как: ОАО «ВНИИПП», НПЦ «Динамика», ООО «НТЦ «Завод Балансировочных машин», Сибирский центр вибродиагностики на базе НИ ТПУ.

5.1. ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1.1. Анализ факторов производственного процесса, которые может создать объект исследования.

5.1.1.1 Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования.

К факторам данного типа можно отнести:

1. Вращающиеся части стенда входного контроля подшипников качения.
2. Пневмопривод.

Особую опасность представляют вращающиеся части узлов стенда входного контроля.

Данный фактор может повлечь за собой тяжелые последствия: травмы механических тканей, внутренних органов. Все вращающиеся части стенда входного контроля необходимо закрывать кожухами, щитками, дверцами, экранами, барьерами.

5.1.1.2 Факторы связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов.

К факторам данного типа можно отнести:

1. высокую температуру узлов стенда входного контроля подшипников качения;
2. Высокую температуру испытываемых подшипников качения;
3. Попадание на кожные покровы смазочной жидкости (масло).

Высокая температура узлов стенда входного контроля подшипников качения и испытываемых подшипников качения может привести к ожогам кожного покрова. Для предотвращения этого необходимо использовать защитные кожухи, экраны, которые будут закрывать нагретые узлы

оборудования. Возможен вариант использования материалов с низкой теплопроводностью, при сохранении физико-механических свойств узлов и деталей стенда входного контроля подшипников качения.

Попадание смазочной жидкости (масла) на кожный покров может привести к его ожогу. Для снижения данной опасности необходимо в конструкции стенда входного контроля предусмотреть герметичность гидравлической системы.

5.1.1.3 Факторы, порождаемые химическими свойствами используемых веществ.

К таким факторам можно отнести:

1. Смазывающую жидкость.
2. Частицы тяжелых металлов.

Применение масел в лабораторных испытаниях может вызвать раздражение кожных покровов при попадании на них, так как они содержат вредные химические элементы. При попадании на органы зрения может спровоцировать потерю зрения. Попадание масел в процессе эксперимента на кожный покров может привести к их ожогам, так как масла нагревается от пары трения до 120°C.

Частицы вредных металлов, содержащихся в маслах, в процессе эксперимента могут попасть вовнутрь организма, в следствие процесса испарения, в дальнейшем данный фактор может привести к химическому отравлению.

Смазывающие жидкости могут вызвать аллергические реакции при попадании их на кожный покров.

Нормирование предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе осуществляется согласно Гн 2.2.5.1313-03 □. ПДК серы составляет 6 мг/м³; свинца 0,05 мг/м³; хлордифенила 5 мг/м³, молибдена 3 мг/м³.

5.1.1.4 Факторы, связанные с электромагнитными полями, постоянного характера, связанного с образованием электрических зарядов.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает на него сложное воздействие, являющееся совокупностью термического (нагрев тканей и биологических сред), электролитического (разложение крови и плазмы) и биологического (раздражение и возбуждение нервных волокон) воздействий. Наиболее сложным является биологическое воздействие, свойственное только живым организмам. Любое из этих воздействий может привести к электрической травме, т. е. к повреждению организма, вызванному воздействием электрического тока или электрической дуги. Различают местные электротравмы и электрические удары. Приблизительно 55 % травм имеют смешанный характер.

Требования, предъявляемые к электробезопасности Стенда входного контроля подшипников качения, изложены в ГОСТ 27487–87 «Электрооборудование производственных машин».

Для предотвращения поражением электрическим током необходимо соблюдать следующие правила:

1. Все токоведущие и токоподводящие средства должны быть изолированы и защищены от соприкосновения с ними рабочего.

2. Пользоваться неисправными кнопочными станциями, сломанными рукоятками переключателей и выключателей запрещается.

3. Стенд входного контроля подшипников качения и корпус двигателя должны быть заземлены. Заземляющие устройства должны соответствовать требованиям ПОТ Р О-95120-001-94. Заземляющий провод обычно подводится к зажимному болту сзади передней тумбы или основания станка. Исправность провода следует проверять ежедневно перед началом работы.

При обнаружении неисправности его работу на станке прекратить и обратиться к дежурному электромонтеру.

4. При появлении искр на деталях станка или ощущении тока при соприкосновении со станком необходимо прекратить работу и принять меры для исправления электропроводки электриком.

5. Не разливать охлаждающую жидкость около комплекса, так как сырой пол более опасен, если корпус комплекса окажется под напряжением.

Статическое электричество — явление, при котором на поверхности и в объёме диэлектриков, проводников и полупроводников возникает и накапливается свободный электрический заряд.

Конструкцией стенда входного контроля подшипников качения должны быть исключены опасности от накопления зарядов статического электричества в процессе проведения лабораторных испытаний, от протекания токонепроводящих рабочих жидкостей и др.

5.1.1.5 Средства защиты

Согласно ГОСТ 12.4.011–89 «Средства защиты рабочих» к средствам коллективной защиты относятся: защитные ограждения и устройства, предотвращающие опасность, создаваемую движущимися частями производственного оборудования, изделиями, заготовками и материалами, отлетающими частицами обрабатываемого материала и брызгами смазочно-охлаждающих жидкостей; устройства, защищающие от поражения электрическим током и статического электричества; механизмы, исключающие контакт с опасными и вредными производственными факторами; устройства, снижающие уровень воздействия шума, вибрации.

Согласно ГОСТ 12.4.011–89 «Средства защиты рабочих» к средствам индивидуальной защиты относятся: специальная одежда, (защита от попадания стружки), а также изолирующие костюмы, средства защиты

органов дыхания, рук, головы, лица, глаз (защитные очки), предохранительные приспособления.

5.1.2. Анализ факторов производственного процесса, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований.

5.1.2.1 Факторы, связанные с микроклиматическими параметрами воздушной среды

Одним из необходимых условий здорового и высокопроизводительного труда является обеспечение чистоты воздуха и нормальных метеорологических условий в лаборатории. Объем кислорода в помещении составляет менее 20,8 %.

Лабораторное помещение должно быть оборудовано естественной вентиляцией или кондиционером, обеспечивающим постоянство температуры, скорости движения и относительной влажности воздуха. Необходима система центрального отопления.

В зимний период в аудитории для поддержания оптимальной температуры в помещении необходимо использовать систему центрального водяного отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» лабораторное помещение относится к категории Ia. К категории Ia относятся работы, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением до 120 ккал/ч (до 139 Вт).

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 в таблице 5.1 приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений, в таблице 5.2 приведены допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Табл.5.1– Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, кВт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139Вт)	22–24	21–25	60–40	0,1
Теплый	Ia (до 139Вт)	23–25	22–26	60–40	0,1

Табл. 5.1 – Допустимые показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, кВт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
		Ниже оптимальной величины	Выше оптимальной величины			
Холодный	Ia (до 139 Вт)	20–21,9	24,1–25	19–26	15–75	0,1
Теплый	Ia (до 139 Вт)	21–22,9	25,1–28	20–29	15–75	0,2

5.1.2.2. Освещенность рабочей зоны

Уровень освещенности оказывает влияние на психические функции и физиологические процессы в организме человека. Хорошее освещение действует тонизирующе, стимулирует активность, предупреждает развитие утомления, повышает работоспособность.

Неправильное организованное освещение рабочих мест и рабочей зоны не только утомляет зрение, но и вызывает утомление всего организма в целом. Недостаточное освещение, слепящие источники света и резкие тени от оборудования и других предметов притупляют внимание, вызывают ухудшение или потерю ориентации работающего, что может быть причиной травматизма. Установлено, что неудовлетворительное освещение является причиной примерно 5% несчастных случаев на производстве. При недостаточной освещенности сокращается время ясного видения — время, в течение которого глаз человека сохраняет способность различать рассматриваемый объект.

Освещенность рабочего места нормируется согласно СП52.13330.2011.

В помещении присутствует два типа освещения – искусственное (лампа освещения) и естественное (солнечный свет). Естественное освещение достигается путем установки в помещении окон с коэффициентом естественного освещения КЕО не ниже 4%.

Характеристика зрительной работы - средней точности; наименьший размер объекта 0,5 ... 1мм; разряд зрительной работы – IV; подразряд – а; контрастность с фоном – малый; фон – темный; освещенность искусственного освещения – 750 Лк., коэффициент пульсации $K_{п} = 20\%$, коэффициент естественной освещенности при боковом естественном

освещении КЕО = 1,5%, при комбинированном совмещенном освещении КЕО = 0,9%.

5.1.2.3 Факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия.

К данным факторам можно отнести монотонность рабочего процесса.

В большинстве случаев работа на данном оборудовании монотонна, многократное повторение одних и тех же действий. Данный фактор может привести к переутомлению организма, спровоцировать потерю концентрации, повышению риска совершить ошибку, что может привести к производственным травмам.

5.2 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

К основному загрязняющему фактору, возникающем в процессе проведения лабораторных испытаний, можно отнести масла, применяемые для смазки пар трения. В состав масел могут входить токсичные вещества как: сера, хлор, тяжелые металлы (барий, сурьма, цинк, свинец).

5.2.1. Влияние смазывающих жидкостей на атмосферу

При испарении смазывающей жидкости в процессе трения (масляный туман) или хранения выделяются синтетические масла с повышенным содержанием полихлора- дифениламина (ПХД). Данное химическое соединение, попадая в атмосферу, образует еще более токсичные соединения - полихлордибензодиоксины и полихлордибензофураны. Помимо ПХД при испарении в атмосферу попадает сера, пары тяжелых металлов, которые распространяются по воздуху, вступая в химические реакции с другими элементами, тем самым создают угрозу для живых организмов.

5.2.2. Влияние смазывающих жидкостей на гидросферу

Отработанную смазочную жидкость в большинстве случаев утилизируют в землю. При разложении смазочных жидкостей или нарушении контейнера жидкость попадает в поверхностные грунтовые воды. В почве образуются так называемые масляные линзы, из которых масло со скоростью 10,2-10,5 м/с распространяется в ширину и вглубь, контактирует с грунтовыми водами и мигрирует с ними. Через грунтовые воды, элементы СОЖ могут попадать в организм человек, привести к заражению растений.

Для снижения уровня загрязнения атмосферы, гидросферы применяют экологические чистые смазочные жидкости, либо разрабатываются технологические процессы, требования связанных с утилизацией отработанных смазочных жидкостей.

5.3. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.

В данной главе рассмотрим чрезвычайную ситуацию (пожар), возникшую в лаборатории.

Пожаровзрывобезопасность – это состояние объекта экономики и его технологических процессов, при котором с установленной вероятностью исключается возможность пожара и взрыва и воздействие на людей их опасных факторов, а также осуществляется защита материальных ценностей. Она обеспечивается комплексом организационных, противопожарных, инженерно-технических и специальных мероприятий и средств как при эксплуатации объектов, так и в случаях их реконструкции, ремонта или аварийной (чрезвычайной) ситуации.

Причинами возникновения пожара на производственном участке могут быть:

1. Неисправность электропроводки помещения.
2. Короткое замыкание в электрической сети стэнда входного контроля подшипников качения.
3. Возгорание стэнда входного контроля подшипников качения вследствие перегрева его узлов.
4. Неисправность цепей управления.
5. Неисправность элементов управления станком.

5.3.1. Профилактические мероприятия

Пожарная профилактика – это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также создание условий успешного тушения пожара.

Для предотвращения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие меры:

1. В рабочей зоне должны отсутствовать легковоспламеняющиеся вещества.
2. Все токоведущие цепи должны быть в защитной оболочке.
3. Использование предохранительных устройств (пускатели с тепловым реле).
4. Не допускать перегрев элементов стэнда входного контроля подшипников качения.
5. Рабочая область должна быть оборудована датчиками дыма.
6. Необходимо наличие пожарной сигнализации.
7. Наличие средств пожаротушения.
8. Инструктаж по пожарной безопасности.

Требования по пожарной безопасности изложены в СП 112.13330.2011.

Для тушения горящего электрооборудования под напряжением возникает риск поражения электрическим током. Для тушения необходимо использовать:

- углекислоту и огнетушащий порошок из ручных огнетушителей (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8 и ОП-8, ОПЗ-2 соответственно);
- воздушно-механическую пену на пресной воде из огнетушителей ОВПМ-8, ОВПМ-30у и стационарных огнетушителей типа СО;
- пресную воду соленостью не более 10 Бр;
- стационарную систему и переносные средства объемного химического тушения.

5.3.2. Требования пожарной безопасности к путям эвакуации

1. Все двери эвакуационных выходов должны свободно открываться в сторону выхода из помещений. При пребывании в помещении людей, двери могут запираются только на внутренние, легко открываемые запоры.

2. Пути эвакуации должны быть освещены в соответствии с требованиями СП52.13330.2011.

На путях эвакуации **ЗАПРЕЩАЕТСЯ**:

1. Загромождать эвакуационные пути и выходы (в том числе проходы, коридоры, тамбуры, лестничные площадки, марши лестниц, двери, эвакуационные люки) различными материалами, изделиями, оборудованием и другими предметами.

2. Устраивать в тамбурах выходов сушилки одежды любой конструкции, вешалки для одежды и гардеробы, хранение (в том числе временное) любого инвентаря и материалов.

3. Устраивать на путях эвакуации пороги, турникеты, раздвижные, подъёмные и вращающиеся двери и другие устройства, препятствующие свободной эвакуации людей.

4. Фиксировать самозакрывающиеся двери лестничных клеток, коридоров, холлов и тамбуров в открытом положении (если для этих целей не используются автоматические устройства, срабатывающие при пожаре), а также снимать их.

5. Применять горючие материалы для отделки, облицовки и окраски стен и потолков, а также ступеней и лестничных площадок на путях эвакуации.

Согласно НПБ 105 – 03 помещение по пожаробезопасности относится к категории В2. Данная категория подразумевает, что помещение пожароопасное, наличие горючих и трудногорючих жидкостей, твёрдых горючих и трудногорючих веществ и материалов (в том числе пыли и волокна), способных при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть, не формируя взрыва.

5.3.3. Последовательность действий при возникновении пожара

5.3.3.1. Действия сотрудника лаборатории

Каждый работник цеха при обнаружении пожара или признаков горения (задымления, запаха гари, повышения температуры и т.п.) обязан:

1. немедленно поставить в известность своего непосредственного руководителя (ответственного за противопожарное состояние), другое должностное лицо, заменяющее его, а при его отсутствии лично сообщить по телефону "01" в пожарную охрану (при этом необходимо назвать адрес объекта, место возникновения пожара, а также сообщить свою фамилию);
2. принять по возможности меры по эвакуации людей, тушению пожара и сохранности материальных ценностей.
3. В условиях задымления и наличия огня в помещении передвигайтесь вдоль стен, согнувшись или ползком, для облегчения дыхания прикройте нос и рот платком (тканью), смоченной водой.
4. Через пламя необходимо передвигаться, накрывшись с головой верхней одеждой, по возможности облить водой, загоревшую одежду сорвать или погасить пламя, а при охвате огнем большей части одежды плотно закатать работника в ткань (одеяло, кошму).

5.3.3.2. Действия руководителя

Руководитель (лицо, ответственное за противопожарное состояние), другое лицо, замещающее его, получив сообщение о пожаре, обязан:

1. Продублировать сообщение о возникновении пожара в пожарную охрану.
2. В случае угрозы жизни людей немедленно организовать их спасение.
3. При необходимости отключить электроэнергию, остановить работу системы вентиляции, воздержаться от открытия окон и дверей, а также не разбивать стекол, покидая помещение или здание, закрыть за собой двери и окна, чтобы предотвратить приток воздуха в очаг пожара.
4. Прекратить все работы в помещениях, кроме работ, связанных с мероприятиями по ликвидации пожара.
5. Удалить за пределы опасной зоны всех работников, не участвующих в тушении пожара.
6. Осуществлять общее руководство по тушению пожара до прибытия подразделения пожарной охраны.
7. Обеспечить соблюдение требований безопасности работниками, принимающими участие в тушении пожара.
8. Одновременно с тушением пожара организовать эвакуацию и защиту материальных ценностей.
9. Организовать встречу подразделения пожарной охраны и оказать

помощь в выборе кратчайшего пути для подъезда к очагу пожара.

10. Проинформировать руководителя тушения пожара о конструктивных и технологических особенностях объекта и других сведениях, необходимых для успешной ликвидации пожара.

На рисунке 5.1 показан план эвакуации из здания.



Рисунок 5.1. План эвакуации

5.4. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.4.1. Правовые нормы обеспечения безопасности.

Рабочее время – время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени.

Категория Ia относится к труду легкой тяжести. Согласно 92 статье Трудового Кодекса РФ продолжительность рабочего дня работников составляет 8 часов в день и 40 часов в неделю.

99 статья Трудового Кодекса РФ предусматривает сверхурочную работу.

Сверхурочная работа – работа, выполняемая работником по инициативе работодателя за пределами установленной для работника продолжительности рабочего времени: ежедневной работы (смены), а при суммированном учете рабочего времени - сверх нормального числа рабочих часов за учетный период.

Привлечение работодателем работника к сверхурочной работе допускается с его письменного согласия в следующих случаях:

1. при необходимости выполнить (закончить) начатую работу, которая вследствие непредвиденной задержки по техническим условиям производства не могла быть выполнена (закончена) в течение установленной для работника продолжительности рабочего времени, если невыполнение (незавершение) этой работы может повлечь за собой порчу или гибель имущества работодателя (в том числе имущества третьих лиц, находящегося у работодателя, если работодатель несет ответственность за сохранность этого имущества), государственного или муниципального имущества либо создать угрозу жизни и здоровью людей;

2. при производстве временных работ по ремонту и восстановлению механизмов или сооружений в тех случаях, когда их неисправность может стать причиной прекращения работы для значительного числа работников;

3. для продолжения работы при неявке сменяющего работника, если работа не допускает перерыва. В этих случаях работодатель обязан немедленно принять меры по замене сменщика другим работником.

Согласно статье 114 –115 ТК РФ работникам предоставляются ежегодные отпуска с сохранением места работы (должности) и среднего заработка. Ежегодный основной оплачиваемый отпуск предоставляется работникам продолжительностью 28 календарных дней.

Согласно 132 статье ТК РФ заработная плата каждого работника зависит от его квалификации, сложности выполняемой работы, количества и качества затраченного труда и максимальным размером не ограничивается, за исключением случаев, предусмотренных настоящим Кодексом.

5.4.2. Организационные решения для обеспечения безопасности.

Так как обработка полученных данных при проведении экспериментов ведется за ПЭВМ, то для осуществления практической деятельности в области обеспечения безопасности жизнедеятельности необходимо соблюдение нормативов и правил ведения соответствующих работ, позволяющие их обеспечить. Соблюдение рабочего режима, правил ведения работ и т.д.

Согласно СанПиН 2.2.2 2.4.1340 – 03 при размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора) должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов - не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой

концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками высотой 1,5 – 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 – 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В ходе выполнения магистерской диссертации были систематизированы и закреплены знания в сфере профессиональной деятельности, которая включает совокупность средств, методик обработки различных материалов. Основная цель проекта достигалась путем последовательного решения поставленных задач.

В данной работе проделаны следующие этапы:

1. Проведен литературный обзор способов определения дефектов подшипников качения.
2. Проведено теоритическое исследование математической модели подшипника качения и выдвинута гипотеза.
Дефекты подшипника качения с одинаковой степенью развития вносят разный вклад в колебания подшипника качения. Величины дефектов (геометрические размеры) связаны в процентном соотношении так же, как и амплитуды сигналов на частотах дефектов подшипника качения. Отсюда следует, что для каждого дефекта подшипника качения существуют индивидуальные пороговые значения.
3. Проведен ряд экспериментов и определены диагностические признаки дефектов подшипника качения, проявляющиеся на разных частотах.
4. Определена экономическая и ресурсоэффективная составляющая работы. Произведен расчет требующихся затрат на реализацию НИР. определены сильные, слабые стороны проекта.
5. Рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места сотрудника, осуществляющего трудовую деятельность в лаборатории. Составлен перечень опасных и вредных факторов, оказывающих влияние на сотрудника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Диагностика технологических систем: учебное пособие. Часть 2 / А.н. Гаврилин, Б.Б. Мойзес; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 128 с.
2. Вибрационная диагностика: [Электронный ресурс] Режим доступа <http://vibro-expert.ru/granichnie-znacheniya-chastotnix-polos-tretoktavnogo-spektra.html> (Дата обращения: 10.11.2017).
3. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука. ФИЗМАТЛИТ, 1971 г. - 192 с.
4. Вибро-центр: [Электронный ресурс] Режим доступа <http://vibrocenter.ru/book6.htm> (Дата обращения: 10.11.2017).
5. РД ВНИИПП.038-08. Нормы вибрации. Руководящий документ.
6. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов/Под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с., ил.
7. Schaeffler KG 2009, ноябрь: [Электронный ресурс] Режим доступа <http://www.s-graciya.ru/upload/file/FAG/osn--.pdf>. (Дата обращения: 04.10.2017).
8. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А Финансовый менеджмент, ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.А. Гаврикова, Н.В. Шаповалова, Л.Р. Тухватулина, З.В. Криницина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 36 с.
9. Гольдштейн Г. Я. Стратегический менеджмент. Таганрог: ТРТУ, 1998.
10. ГОСТ 12.1.003-83 Шум. Общие требования безопасности. – Москва: Изд-во стандартов , 1984. –13с.
11. ГОСТ 12.1.012-90 Вибрационная безопасность. – Москва: Изд-во стандартов , 1991. –31с.
12. СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений». М.: Информационно-издательский центр. Минздрава России, 1997.
13. Гн 2.2.5.1313-03. предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
14. ГОСТ 12.4.011–89 «Средства защиты рабочих». – Москва: Изд-во стандартов , 2004. –8с.
15. ГОСТ 27487–87 «Электрооборудование производственных машин». – Москва: Изд-во стандартов , 1993. –100с.
16. ПОТ Р О-95120-001-94 «Правила по охране труда на предприятиях розничной торговли».
17. СНИП 21-01-97 Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Строительные нормы и правила пожарная безопасность зданий и сооружений» ». М.: Информационно-издательский центр. Минздрава России, 1998.

18. СНиП 41-01-2003. Санитарно – эпидемиологические правила и нормативы «Отопление, вентиляция и кондиционирование» ». М.: Информационно-издательский центр. Минздрава России, 2004.
19. Трудовой кодекс Российской Федерации №197-ФЗ.
20. Руководство по эксплуатации СП-180М.000.000 РЭ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.

Раздел 1 Литературный обзор

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ61	Зуев Александр Витальевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант – лингвист отделения иностранных языков

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Степура С. Н.	к.ф.н.		

1.1. BEARING DEFECT FREQUENCIES

The fault characteristic frequency and its harmonics appear when a bearing is operated. Fundamental defect frequencies depend upon the bearing geometry and shaft speed.

There are four fundamental defect frequencies: fundamental train frequency (FTF), ball pass frequency (BPF), ball pass frequency outer race (BPFO) and ball pass frequency inner race (BPFi).

$$\begin{aligned}f_{cen} &= \frac{1}{2} f_{ep} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right), \\f_{mk} &= \frac{1}{2} f_{ep} \frac{D}{d} \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \cos^2 \alpha \right), \\f_{hap} &= z \frac{1}{2} f_{ep} \left(1 - \frac{d}{D} \cos \alpha \right), \\f_{\theta H} &= z \frac{1}{2} f_{ep} \left(1 + \frac{d}{D} \cos \alpha \right),\end{aligned}\tag{1.1}$$

where

z —number of balls,

D —pitch diameter (mm),

d —ball diameter (mm),

f —shaft frequency (Hz),

α —contact angle.

There are a number of requirements which help to obtain harmonics with these characteristic frequencies in the presence of an obvious defect in the vibration signal:

- a bearing must be loaded with sufficient force which is close to the nominal;
- the defective area should sometimes pass through load capacity of the bearing;
- there are no other sources of vibration signal with a frequency equal to the defect frequency;
- a vibration pickup should be located close enough to the area of load capacity of the bearing;
- the frequency parameters of the vibration pickup should accord to the operating parameters of the mechanism;

- after processing, a spectrum of a vibration signal is obtained with a resolution of at least 0.5 Hz.

The question of how to determine the level of the detected defect by amplitude or other bearing characteristics frequency and its harmonics is also complex. It depends to a large extent on a type of equipment which is used and the location of the vibration sensor. For example, inner race defects is less visible than outer race defects.

The critical level of bearing failure (the degree of development in %) increases labor input of the diagnosis.

Additional Information:

- Typically, all bearing frequencies are modulated by the rotor speed, resulting in characteristic side harmonics around bearing. As the defect deepens the number of side harmonics increases. The additional vibration power is concentrated not in the harmonics of the fundamental bearing defect but around it, and in a sufficiently wide frequency range.
- The actual frequencies of characteristic harmonics of individual bearing elements do not often correspond to the calculated values and as the defect deepens the difference between values increases.
- Most often, with significant degrees of defects development "energy humps" appear on the spectrum. They are the areas with a general rise in level having a large number of random peaks. Such "humps" can occur both near the characteristic frequency and near the resonance frequency of the structure or its element. Often the "energy hump" appears in two places of the spectrum at the characteristic frequency and at the resonant frequency. If the defect is already developed, the situation when the characteristic frequency around which "energy hump" has appeared and grown is not on the spectrum. Sometimes the number of "humps" can be three or even more.

1.2. ENVELOPE SPECTRUM

Envelope-analysis of a bandpass-filtered signal is an established technique for identifying faults in bearings.

The process of altering the characteristics of the amplitude, frequency, or phase angle of the high-frequency signal in accordance with the instantaneous value of the modulating wave is called modulation.

The modulation index (or modulation depth):

$$M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

Here A_{\max} is the maximum amplitude and A_{\min} is minimum amplitude of the modulated signal.

Frequency modulation is visible on the envelope spectrum. For the envelope spectrum, it is necessary to consider harmonics, which are enough (in the number, not more than seven) for the conclusion about the presence or absence of the rolling bearings defect.

Rolling bearings defects have their individual features. "Type of signal" column shows the parameter by which it is most effective to diagnose each defect. The column "Main frequency" shows either the rotor speed or the main bearing frequencies. The next column points out which harmonics from the fundamental frequency should be taken into account. And in the last column which is called "Threshold value" shows the level of modulation that is applied to a signal by the harmonic as a diagnostic tool. This parameter is calculated by using standard signal processing formulas, which should be taken from the theory of modulating radio signals.

Table 1.1. — Bearing defects

No	Bearing failure	Type of signal	Fundamental frequency	Harmonics	Threshold value
1. Improper mounting					
1.1	An outer ring skew	Spectrum+ envelope	$2 \cdot f_{\text{nap}}$	-	16 %
1.2	Radial stress	Spectrum+ envelope	$k \cdot f_{ep}$	$k=1; 2$	13 %
1.3	A seatpost slipping	Envelope	$k \cdot f_{ep}$	$k=1; 2; 3$	9 %
1.4	A loose bearing race	Spectrum	$k \cdot f_{ep}$	$k=0,5; 1; 2; 3$	13 %
1.5	Bearing and seals defect	Spectrum	$k \cdot f_{ep}$	$k=0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3$	13 %
1.6	An outer ring defect	Spectrum+ envelope	f_{ep}	-	16 %
2. Lubricant failure					
2.1	Lubricant failure	Vibration background	-	-	20 dB
3. Wear in rolling bearings					
3.1	The increase in	Spectrum	$k \cdot f_{ep}$	$k=1, 2, 3...$	13 %

	bearing clearance				
3.2	Outer surface wear	Envelope	f_{nap}	-	16 %
3.3	A rolling surface wear	Envelope	f_{cen} or $f_{ep} - f_{cen}$	-	15 %
3.4	An inner ring surface wear	Envelope	$k \cdot f_{ep}$	$k=1, 2, 3...$	13 %
3.5	A friction surface defect	Envelope	$f_{nap} + f_{en}$, $f_{nap} + f_{ep}$	-	16 %
4. Critical defects of rolling bearings					
4.1	Shrinkage (chips) on the outer ring	Envelope	$k \cdot f_{nap}$	$k=1,2,3$	16 %
4.2	Shrinkage (chips) on the inner ring	Envelope	$k \cdot f_{en}$	$k=1,2,3$	15 %
4.3	Shrinkage (chips) on the rolling bodies	Envelope	$k \cdot f_{mk}$	$k=1,2,3$	15 %

1.3. 1/3 OCTAVE BAND FILTER

The whole frequency range is divided into sets of frequencies called bands. Each band covers a specific range of frequencies. For this reason, a scale of octave bands and one-third octave bands has been developed. For ease of comparison of an octave, 1/3 octave, 1/6 octave e.t.c, the numbers of the bands usually are not standardized, but their average frequencies are standardized in Hertz.

Upper and lower frequency bounds are related by next formula:

$$f_H = 2^{1/3} \cdot f_B.$$

So, middle frequencies F_0 are computed by successive multiplications or divisions of this reference value with 2 or $2^{1/3}$ for octave and third-octave bands respectively.

For a third-octave bandwidth, the bandwidth is about 23% of the center frequency, which means that the frequency band is getting wider when the average frequency is higher, but in the logarithmic scale the width of the band is the same (Fig._).

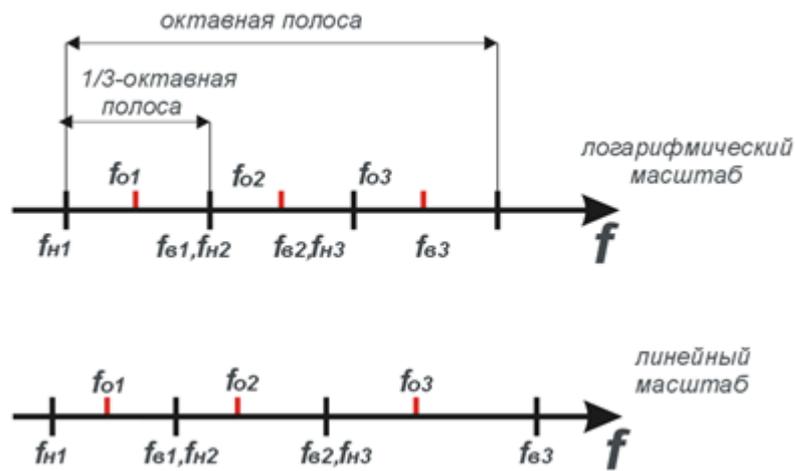


Fig. _ — Frequencies of one-third octave filters

The average geometric frequency is equal to 1000 Hz, at this frequency, the sensitivity of the human auditory system is considered to be the maximum. The average geometric frequencies of the octave bands are counted in both directions from the average geometric frequency.

Figure _ shows the signal which is measured on the base where the bearing with the defect of the outer and inner rings is placed. Figure _ shows the spectrum of this signal.

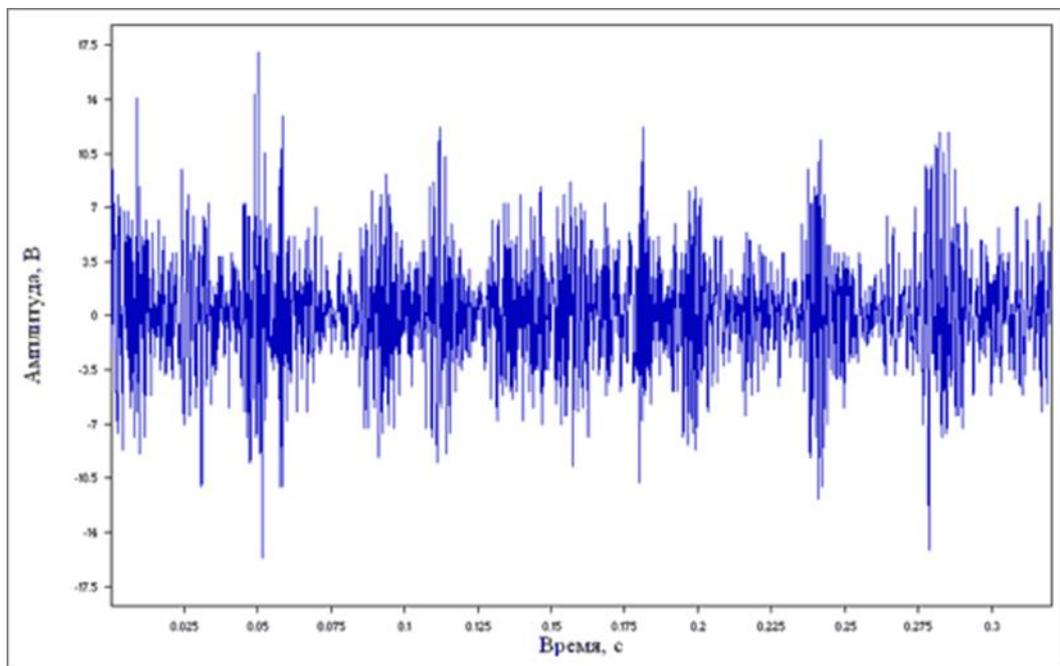


Fig._ — Vibro-acoustic signals

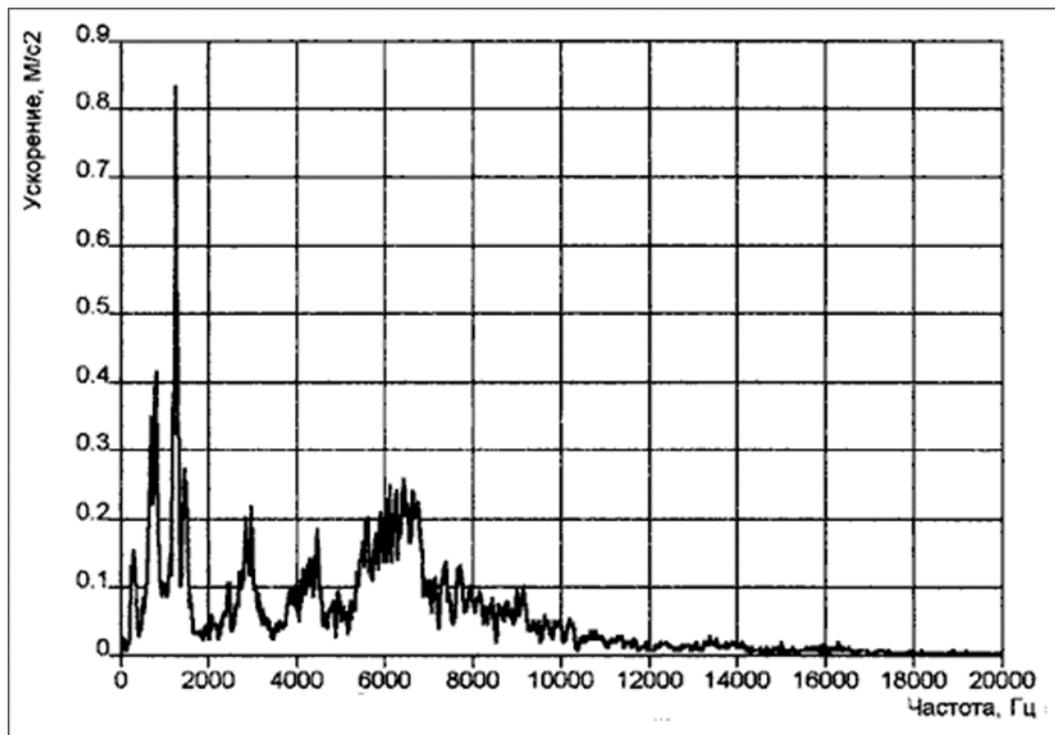


Fig._— Vibro-acoustic *signal spectrum*

The resulted signal was measured by a sensor that is placed on a bearing support 60305 with the following defects: wear of a bearing separator; pipe on the outer ring; defects on rolling elements. The values of the modulation depth obtained at the bearing frequencies by using the center frequency of a band-pass filter (3.1; 6.3; 8 and 10 kHz) are tabulated below.

Table_— Dependence of the frequency modulation index of bearing frequencies on the frequency of the bandpass filter

The center frequency of a band-pass filter, kHz	the frequency modulation index of bearing frequencies, %			
	$f_c = 6,5 \text{ Hz}$	$4f_c = 26 \text{ Hz}$	$f_H = 44,5 \text{ Hz}$	$f_{r.k.} = 60,25 \text{ Hz}$
3,1	5,97	6,47	11,4	13,4
6,3	25,3	17,2	25,3	14,2
8	33,9	17	28,5	18,2
10	32,6	13,9	24,3	25,7

Analysis of the results shows that with 3.1 kHz bandpass filter, the depth of modulation is much lower than with the other measurements. This frequency band is located on the slope of the resonance peak (Fig._). That means such small frequency deviations lead to a significant amplitude change of the signal.

Therefore, the considered modulated signal cannot be stationary. Consequently, this frequency range cannot be used.

A bandpass filter with a center frequency of 6.3 kHz hits the top of the resonant region. To apply this range for measurement is undesirable because the amplitude dispersion is large in this frequency band. That means that in this frequency domain, the difference on the spectrum of the amplitude values at neighboring frequencies is great. The measured high-frequency spectrum on the similar supports has a shifted resonance, so it is difficult to make a comparison of the strength of the defect.

The most suitable bandpass filter for the given bearing is the one-third octave band with a center frequency of 8 kHz. Figure 2 shows that in this frequency band, spectrum has a high amplitude and a uniform distribution in the band 7.5 - 9 kHz. It follows that when the modes change, the amplitude values will change insignificantly.

The frequency range from 9 to 11 kHz is also used to obtain the spectrum of envelope signals. The advantage of this range is that the main part of the mechanical noise is placed at lower frequencies. In this range, the spectrum is uniform. It is suitable for almost all small diameter bearings since there are different order resonances of the inner and outer rings.

1.4. THE RIGIDITY OF A ROLLING BEARING

The stiffness of a rolling bearing is characterized by the magnitude of the elastic deformation (deflection) in the bearing under load.

The stiffness of the rolling bearing (Fig. 1.1) mainly depends on its type and size [1, 2] (Appendix 1).

The rigidity factor of bearings is calculated as follows:

$$C_S = K_C \cdot d^{0,65}$$

where C_S – rigidity parameter, $N^{0,84}/\mu m$;

d – the bore diameter;

K_C – factor for determining the rigidity parameter, see table_.

The formula is valid for bearings without misalignment and with a rigid surrounding structure.

Table_— Factor K_c

Bearing series	The factor K_C	Series	The factor K_C
SL1818	12,8	NJ2..-E	11,1
SL1829, SL1830, SL1923	16	NJ3..-E	11,3
SL1850, SL0148, SL0248, SL0249	29,2	NJ22..-E	15,4
NA48	24,9	NJ23..-E	16,9
NA49	23,5	NU10	9,5
NA69	37,3	NU19	11,3
NKIS	21,3	NN30..-AS-K	18,6
NKI	$4,4 B^{0,8}/d^{0,2}$	ZNR31-22	21,1
HK, BK	$4,2 B^{0,8}/d^{0,2}$	ZNR31-23	23,2
K811, 811, K812, 812	36,7	ZNR31-30	30
K893, 893, K894, 894	59,7	ZNR31-31	29,3

Based on the data in Table_ and using the formula, determine the rigidity values for each listed types of bearings.

Figure 1.1. shows, the rolling bearing rigidity dependence on its diameter.

The more the diameter of the rolling bearings, the stiffness is higher (Fig. 1.1). Depending on the type of bearing, different curves are obtained, which represent the amount of stiffness. Radial roller and radial needle roller bearings have the highest value of stiffness; ball bearings have the smallest one.

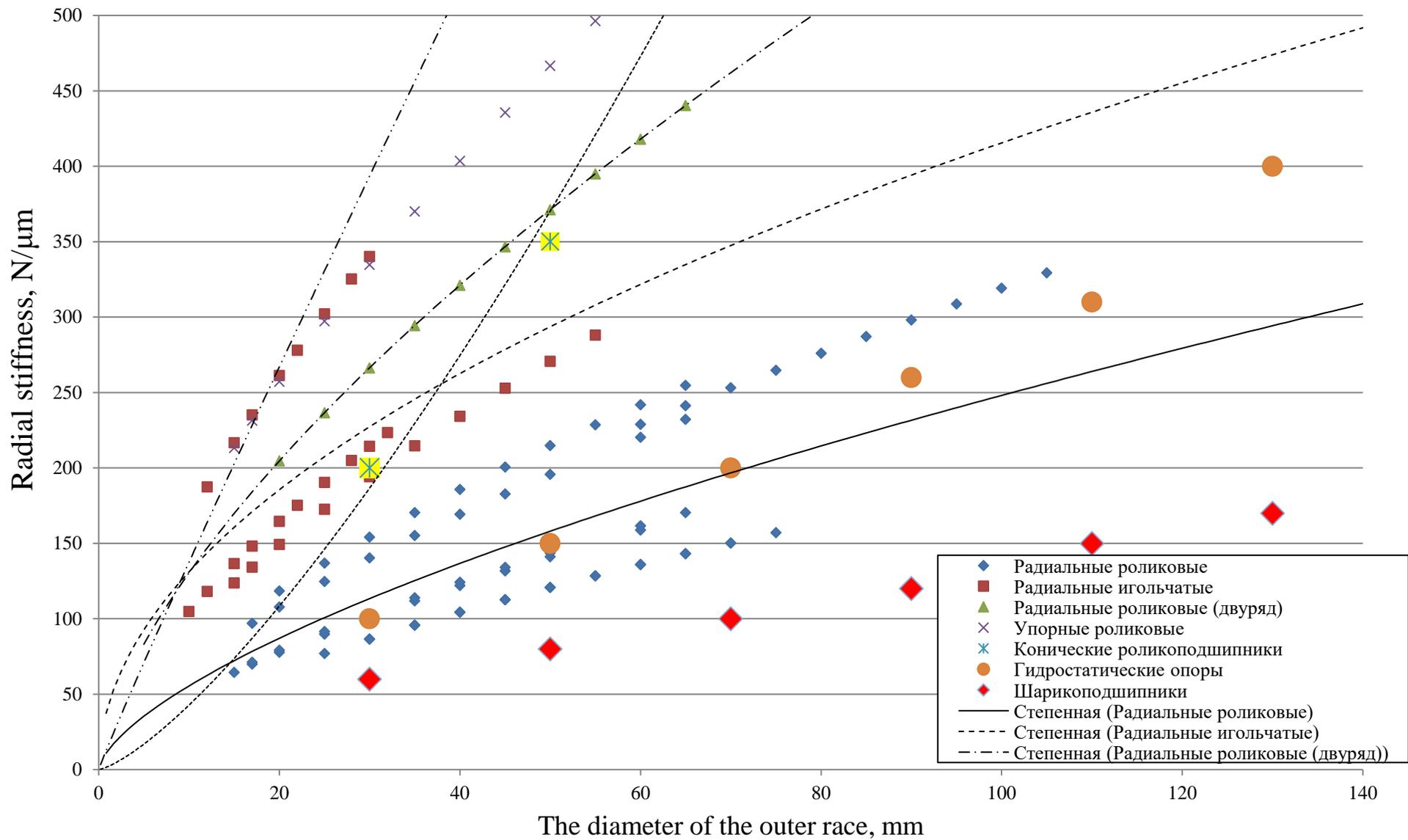


Fig. 1.1. Dependence of the rigidity factor of bearing on its diameter

CONCLUSIONS

1. There are four characteristic frequencies used to diagnose bearings: fundamental train frequency (FTF), ball pass frequency (BPF), ball pass frequency outer race (BPFO) and ball pass frequency inner race (BPFI). Each of these frequencies is modulated by the rotation frequency of the rotor that leads to the appearance of sideband, the numbers of which increase when a defect is increasing. With a significant development of the defect, "energy hump" appears on the spectrum which can occur both near the characteristic frequency and near the resonance frequency of the construction or its part.
2. To determine the presence of a bearing defect, usually, use the envelope spectrum of the modulated signal.
3. The most suitable bandpass filter for measurement of envelope signals is one-third octave filters in which the spectrum has a high amplitude and a uniform distribution in a certain frequency band. In this case, when the modes are changing the amplitude values should change insignificantly.
4. The dependence of the rigidity of the rolling bearing on its diameter is a curve. The rigidity of the bearing depends on its type and size. Radial roller and radial needle roller bearings have the highest value of stiffness; ball bearings have the smallest ones.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ РАЗМЕРЫ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ 210

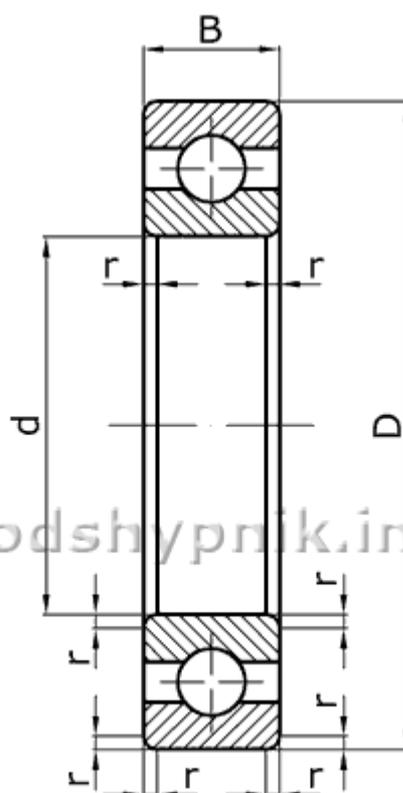


Рис. П.2.1. Схема Подшипника качения

Табл.П.2.1. Характеристики подшипника 210

Характеристики подшипника 210			
Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Внутренний диаметр подшипника	d	50	мм
Наружный диаметр подшипника	D	90	мм
Ширина подшипника	B	20	мм
Радиус монтажной фаски подшипника	r	2,0	мм
Статическая грузоподъемность	C ₀	19800	Н
Динамическая грузоподъемность	C	35100	Н
Масса подшипника	m	0,460	кг

Направление воспринимаемых нагрузок - радиальное и осевое в обе стороны. Осевое – до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Могут работать под осевыми нагрузками при высокой частоте вращения.

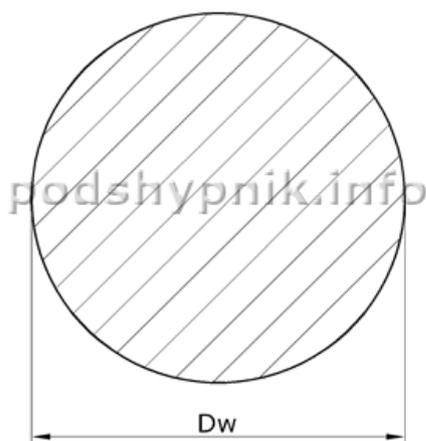


Рис. П.2.2. Тело качения, шарик 12,700

Табл.П.2.2. Тела качения в подшипнике

Тело качения	
Обозначение	Шарик 12,700
Количество, шт	10

Табл. П.2.3. Характеристики тел качения

Характеристики шарика 12,700			
Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Диаметр тела качения	D_w	12,700	мм
Разрушающая нагрузка, не менее	C	83356	Н
Масса 1000 шт. тел качения	m	8,42	кг

Шарики должны быть изготовлены из стали по ГОСТ 801-78 и ГОСТ 4727-67. По заказу потребителя допускается изготовление шариков из других марок сталей. Шарики не должны иметь трещин, коррозии, а также шлифовочных отжигов в виде пятен вторичной закалки и вторичного отпуска. Шарики должны быть размагничены.

Шарик соответствует стандарту ГОСТ 3722-81.

Табл. П.2.4. Нормы вибрации для подшипников качения РД ВНИПП.038-08

Вибра- ционный раз- ряд	пара- метр	Диаметр отверстия, мм																	
		7	8	9	10	12	15	17	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Ш, ШШ	L	82	82	83	83	84	84	84	84	86	86	86	86	87	87	88	89	90	91
	M	78	78	78	79	79	80	80	80	81	81	82	82	83	83	84	85	86	87
	H	78	78	79	79	79	79	80	80	82	83	84	85	87	88	90	91	92	93
	P	71	71	71	72	72	72	73	73	74	75	76	76	78	79	81	82	83	84

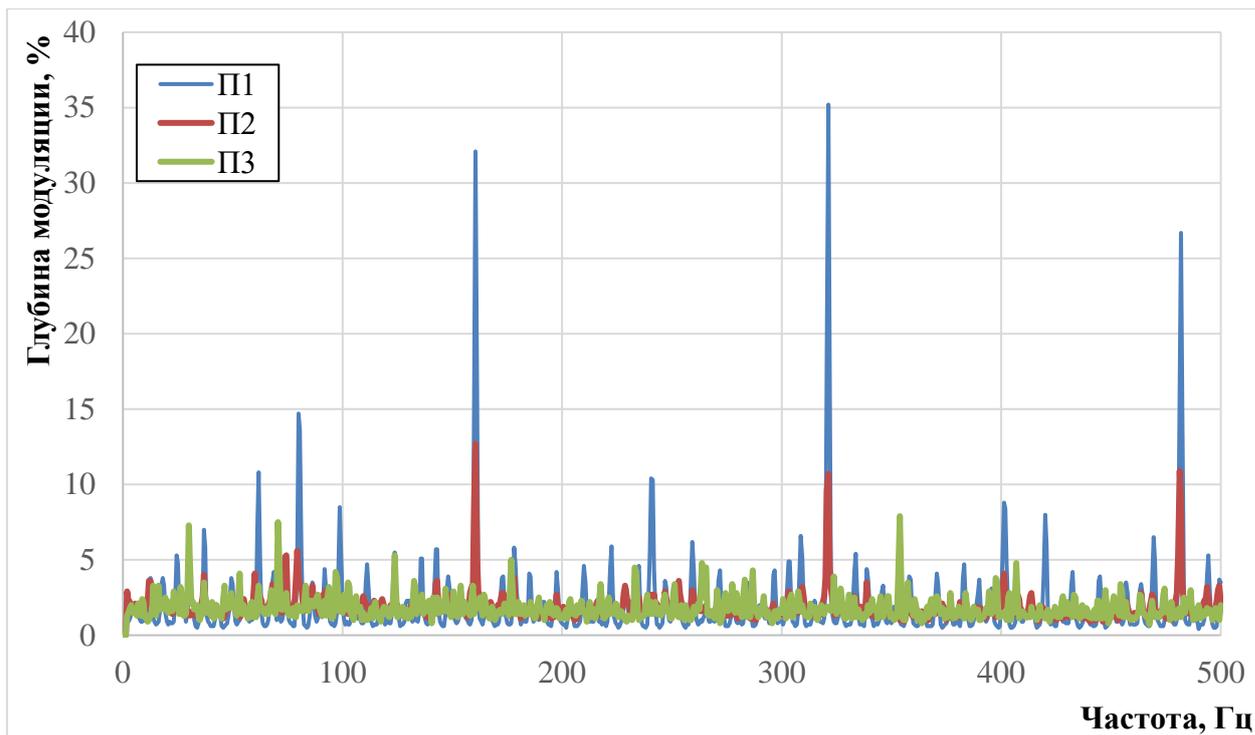


Рисунок П.3.1. Зависимость глубины модуляции от подшипниковых частот.