

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

Школа – Инженерная школа Информационных технологий и робототехники
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение Автоматизации и робототехники

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Автоматизированная система контроля вибрации роторных агрегатов

УДК 004.896:62-26:62-251

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Афанасьев Максим Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Жиронкин С.А.	д.э.н., профессор		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко О.Ю.	д.м.н., профессор		

По разделу на иностранном языке

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Маркова Н.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев С.В.	д.т.н., профессор		

**Планируемые результаты освоения направления
27.04.01 «Стандартизация и метрология»**

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-1	способен к разработке и практической реализации систем стандартизации, сертификации и обеспечения единства измерений
ПК(У)-2	готов обеспечить необходимую эффективность систем обеспечения достоверности измерений при неблагоприятных внешних воздействиях и планирование постоянного улучшения этих систем
ПК(У)-3	способен анализировать состояние и динамику метрологического и нормативного обеспечения производства, стандартизации и сертификации на основе использования прогрессивных методов и средств
ПК(У)-4	способен обеспечить выполнение заданий по разработке новых, пересмотру и гармонизации действующих технических регламентов, стандартов и других документов по техническому регулированию, стандартизации, сертификации, метрологическому обеспечению и управлению качеством
ПК(У)-5	способен разрабатывать процедуры по реализации процесса подтверждения соответствия
ПК(У)-6	готов обеспечить эффективность измерений при управлении технологическими процессами
ПК(У)-7	готов обеспечить надежность и безопасность на всех этапах жизненного цикла продукции
ПК(У)-8	способен к автоматизации процессов измерений, контроля и испытаний в производстве и при научных исследованиях
ПК(У)-29	готов участвовать в научной и педагогической деятельности в области метрологии, технического регулирования и управления качеством

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

Школа – Инженерная школа Информационных технологий и робототехники (ИШИТР)
 Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение Автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ С.В. Муравьев
 (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
8ГМ01	Афанасьеву Максиму Александровичу

Тема работы:

Автоматизированная система контроля вибрации роторных агрегатов

Утверждена приказом директора (дата, номер)	16.02.2022 №47–12
---	-------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является роторное оборудование: электродвигатель с редуктором в составе Виброанализатора СД-21.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1 Обзор литературы 2 Дисбаланс 3 Моделирование дисбаланса 4 Результаты исследований 5 Финансовый менеджмент 6 Социальная ответственность</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Презентация, выполненная в программе Microsoft Power Point</p>

<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Профессор ОСГН ШБИП, д.э.н., Жиронкин С.А.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Профессор ООД ШБИП, д.м.н. Федоренко О.Ю.</p>
<p>Раздел, выполненный на английском языке</p>	<p>Старший преподаватель ОИЯ ШБИП Маркова Н.А.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: Обзор литературы (Literature review)</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>12.01.2022</p>
--	-------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Людмила Игоревна	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Афанасьев Максим Александрович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ГМ01	Афанасьеву Максиму Александровичу

Школа	Инженерная школа информационных технологий и робототехники	Отделение	Отделение автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	24.07.01 Стандартизация и метрология

Тема ВКР:

Автоматизированная система контроля вибрации роторных агрегатов

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

Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально–технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	1 Стоимость расходных материалов; 2 Норматив заработной платы
Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициенты для расчета заработной платы.
Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды (30,2%).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1 потенциальные потребители результатов исследования; 2 диаграмма Исикава; 3 SWOT–анализ.
Разработка устава научно-технического проекта	1 Цели и результат проекта. 2 Организационная структура проекта. 3 Ограничения и допущения проекта.
Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	– определение показателя научно–технического уровня.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1 Портрет» потребителя результатов НТИ 2 Сегментирование рынка 3 Оценка конкурентоспособности технических решений 4 Матрица SWOT 5 Диаграмма Гантта 6 Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП	Жиронкин Сергей Александрович	д.э.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Афанасьев Максим Александрович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		Афанасьеву Максиму Александровичу	
8ГМ01			
Школа		Отделение (НОЦ)	Отделение Автоматизации и робототехники
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	27.04.01 Стандартизация и метрология

Тема ВКР:

Автоматизированная система контроля вибрации роторных агрегатов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p>Объект исследования: привод, состоящий из трехфазного электродвигателя. Область применения: электростанции. Рабочая зона: учебная лаборатория. Размеры помещения: S=21,9; a=3.16; b=6,9 Количество и наименование оборудования рабочей зоны: обычный привод, двухступенчатый цилиндрический редуктор. Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: контроль параметров вибрации.</p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197–ФЗ (ред. от 27.12.2018) – Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 №123–ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности – ГОСТ 12.03.003–2015 ССБТ Опасные и вредные производственные факторы. Классификация – ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности – ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация – ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – ГОСТ 12.1.005–88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны – СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. – СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания – ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ Электробезопасность – ГОСТ 17.4.3.04–85 ССОП Охрана природы. Почвы
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p>Вредные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – недостаточная освещенность рабочей зоны; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенный уровень электромагнитных излучений;

<p>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</p>	<p>– нервно–психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда);</p> <p>– статические физические перегрузки.</p> <p>Опасные факторы:</p> <p>– электрический ток;</p> <p>– короткое замыкание;</p> <p>– статическое электричество.</p> <p>К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:</p> <p>– оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;</p> <p>– изолирующие устройства и покрытия;</p> <p>– устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;</p> <p>– устройства дистанционного управления;</p> <p>– предохранительные устройства и др.</p> <p>Расчет будет проводится по недостаточности освещенности рабочей зоны</p>
<p>3. Экологическая безопасность <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>– Электропривод находится в здании и не несет вреда селитебной зоне.</p> <p>– Электропривод не оказывает никакого влияния на атмосферу т.к. при его работе нет ни каких выбросов.</p> <p>– Электропривод не оказывает влияния на гидросферу.</p> <p>– Негативное воздействие на литосферу происходит при утилизации: компьютера и периферийных устройств (принтеры, МФУ, веб–камеры, наушники, колонки, телефоны); люминесцентных ламп; макулатуры.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при разработке проектного решения</u></p>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>пожар в здании, грозы, ураганы, оползни.</p> <p>Наиболее типичная ЧС:</p> <p>пожар.</p>
<p align="center">Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Федоренко Ольга Юрьевна	д.м.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Афанасьев Максим Александрович		

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

Школа – Инженерная школа Информационных технологий и робототехники (ИШИТР)

Направление подготовки – 27.04.01 Стандартизация и метрология

Отделение школы (НОЦ) – Отделение Автоматизации и робототехники

Форма представления работы:

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ–ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	09.06.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
08.02.2022	1 Обзор литературы	10
01.03.2022	2 Дисбаланс	20
22.03.2022	3 Моделирование дисбаланса	30
12.04.2021	4 Результаты исследований	30
14.05.2022	5 Финансовый менеджмент	5
17.05.2022	6 Социальная ответственность	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Л.И.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОАР ИШИТР	Муравьев С.В.	д.т.н., профессор		

Реферат

Ключевые слова: вибрация, электродвигатель, экспериментальная установка, роторный агрегат, оборудование, система контроля, дисбаланс.

Объектом исследования является установка на основе электродвигателя с датчика вибрации в трех плоскостях.

Целью работы является разработка экспериментальной установки для контроля параметров вибрации роторных агрегатов. Для реализации поставленной цели следует выполнить ряд задач:

- провести анализ современных способов измерения и контроля вибрации в оборудовании роторного типа.
- собрать экспериментальная установку для моделирования дисбаланса.
- провести ряд исследований по статическому и динамическому дисбалансу.
- собрать автоматизированную систему для контроля параметров вибрации по параметру дисбаланса.

Актуальность дипломной работы заключается в том, что разработка автоматизированной системы контроля вибрации существенно облегчит ранее выявление дефектов оборудования на различных предприятиях в том числе, на предприятиях энергетической сферы, поскольку роторное оборудование является основным на данных предприятиях, что приведет к повышению экономической эффективности.

Оглавление

Введение	13
1 Обзор литературы	14
1.1 Системы вибрационной диагностики	14
1.2 Диагностика по общему уровню вибрации	14
1.3 Диагностика по спектрам вибрации	15
1.4 Диагностика состояния оборудования по соотношению пик/фактор	15
1.5 Единицы измерения и параметры вибрации	16
1.6 Средства измерения вибрации	19
1.7 Анализ существующих систем контроля вибрации	22
1.7.1 Комплекс АЛМАЗ 7010	23
1.7.2 Комплекс Вибробит 300	26
1.8 Роторные агрегаты	28
2 Дисбаланс	30
2.1 Вопросы общего характера диагностирования дисбаланса	30
2.2 Динамический дисбаланс	31
2.3 Статический дисбаланс	32
3 Моделирование дисбаланса	35
3.1 Резонанс	39
3.2 Расцентровка	40
3.3 Моделирование расцентровки	41
4 Результаты исследований	45
4.1 Статический дисбаланс	45
4.2 Динамический дисбаланс	46
4.3 Резонанс	48
4.4 Расцентровка	50
4.5 Балансировка ротора	51
4.6 Определение пределов погрешностей	55
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	56

5.1	Потенциальные потребители результатов исследования	56
5.2	Анализ конкурентных технических решений	57
5.3	SWOT–анализ	59
5.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации	61
5.5	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	63
5.6	Инициация проекта	64
5.7	Планирование управления научно-исследовательского проекта	66
5.8	Бюджет научного исследования	69
5.9	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	73
6	Социальная ответственность	77
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	77
6.2	Производственная безопасность	78
6.2.1	Анализ вредных факторов	80
6.2.1.1	Недостаточная освещенность рабочей зоны	80
6.2.1.2	Повышенный уровень шума на рабочем месте	82
6.2.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	83
6.2.1.4	Нервно–психические перегрузки	84
6.2.1.5	Статические физические перегрузки	85
6.2.2	Анализ опасных факторов	86
6.2.2.1	Электрический ток	86
6.2.2.2	Короткое замыкание	86
6.2.2.3	Статическое электричество	87
6.3	Экологическая безопасность	88
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	89
6.5	Выводы по разделу «Социальная ответственность»	90
	Заключение	91
	Список использованных источников	92

Введение

Как показывает практика зарубежный и отечественный опыт, внедрение усовершенствованных и новых методов диагностирования оборудования значительно упрощает выявления и предупреждения неисправностей либо отказов основного оборудования, поддержания эксплуатационных показателей в нужных для того пределах. Прогнозирование состояния межремонтного и ремонтного ресурсов.

Методы вибродиагностики ориентированы на выявления неисправностей различных типов оборудование: паровые турбины, электродвигатели – дефекты опорной системы, дефекты роторов, подшипников качения и скольжения, узлов статора и т.д.

Цели вибродиагностики:

- предупреждение возникновения дефектов оборудования и существенное сокращение затрат для восстановления;
- определение более подходящей технологии восстановления работоспособности оборудования, если возникший дефект полностью исключает его дальнейшую эксплуатацию;

Основным признаком вибрации является механическое колебание, которое посредством измерительной техники преобразуется электрический сигнал.

1 Обзор литературы

1.1 Системы вибрационной диагностики

Вибрационная диагностика – это способ диагностики оборудования, основанный на снятии характеристик с основных параметров вибрации, такие параметры определяются в виде таких параметров как: виброскорость или виброускорение.

Вибрадианостика, может решить такие задачи, как: раннее обнаружение дефектов роторного оборудования разных отраслей промышленности, так же можно обнаружить скрытые дефекты недоступные для диагностики другими методами.

Вибрационная диагностика может проводится только с использованием оборудования специального типа, и персонала обученного для работы на оборудовании роторного типа и средства измерения и снятия вибрационных диагностик [1].

1.2 Диагностика по общему уровню вибрации

Такой метод проявления дефектов оборудования и узлах агрегатов входит в простейшую оценку технического состояния по выделению общего уровня вибросигнала.

Этот метод осуществляется персоналом, обслуживающим различное оборудования даже без специальной вибродиагностической подготовки. Для проведения диагностики дефектов оборудования, необходимо лишь использовать виброметры простейших конструкций.

Недостатком таких методов является то, что дефект таким методом уже можно определить на его последней стадии, то есть предаварийная диагностика.

1.3 Диагностика по спектрам вибросигнала

Такая диагностика позволяет выявить огромное количество дефектов и неисправностей основного оборудования. В большинстве случаев диагностикой по спектрам вибросигналов можно определять дефекты оборудования примерно с медианы второго этапа их развития, когда уровень резонансных колебаний существенен в полной картине частотного распределения по мощности сигнала вибрации.

Реализацией такого метода будет наличие качественных спектроанализаторов и обученного персонала.

При пропускании электрического сигнала после вибропреобразователя через спектроанализатор и необходимо заданной полосой пропускания на выходе получаем амплитудный спектр [2].

1.4 Диагностика состояния оборудования по соотношению пик/фактор

Метод диагностирования по соотношению пик/фактор имеет несколько практически схожих по эффективности модификаций:

- измерение энергии импульса;
- измерение ударных импульсов;
- обнаружение ВЧ сигнала.

Разные методы позволяют обнаружить дефекты оборудования на очень ранних стадиях, то есть с конца первого этапа развития. Для реализации такого метода достаточно простых и дешевых приборов.

Пик/фактор – один из удобных и быстро вычисляемых параметров, который позволит обслуживающему персоналу определить количество ударных вибросигналов во временном сигнале. Такая информация достаточно полезна, причем, что не всегда можно получить достаточную информацию по спектрам сигнала.

В спектре сигнала нет видимых различий между «белым шумом» и ударами. Удар во временном сигнале может быть вызван износом элемента подшипника качения, износом зубьев. Очень часто пик/фактор применяется при мониторинге для наблюдения за уменьшением или увлечением числа ударов.

Пик/фактор – это отношение верхнего значения амплитуды временного сигнала к среднеквадратическому значению. Основной целью вычисления пик/фактора – дать возможность специалисту представление о количестве ударов в представлении временного сигнала [3].

Если обратить внимание на синусоидальный сигнал с единственной амплитудой в значении СКЗ равное 0,707, а значение пик/фактор соответственно равно 1,41. Такой сигнал не содержит ударных импульсов, поэтому значение пик/фактор выше уровня 1,41 говорит о наличии ударов во временном сигнале.

1.5 Единицы измерения и параметры вибрации

Вибросигнал может быть изображен при помощи использования определенных математических вычислений, преобразован в определенные взаимосвязанные представления, такие как: виброскорость, виброперемещение, виброускорение. Все эти представления по своим свойствам информативны примерно в равной степени. Переходя от одного к другому, производится взаимно обратными процедурами дифференцирования и интегрирования, как известно с вибродатчиков на выходе электрический сигнал пропорциональный виброускорению.

Для более корректного описания вибросигнала используется термины виброперемещение и виброскорость.

Виброперемещение (мкм), определяется максимальными границами перемещения точки и характеризуется двойной амплитудой, показывая перемещение от крайнего положения до противоположного другого.

Виброскорость (мм/сек) определяется максимальной скоростью перемещения точки в процессе ее прецессии. Обычно измеряется СКЗ, нежели максимальное значение.

На практике наиболее предпочтительным измерением является измерение виброскорости, данный параметр, учитывает энергетическое воздействие опоры от сил, производящих вибрацию, так же перемещение контролируемой точки.

Виброускорение, характеризуется силовым воздействием на оборудовании (агрегате) которое непосредственно вызывает вибрацию. Виброускорение является одним из наиболее эффективных способов измерения вибрации, ведь его не требуется преобразовывать. Один наиболее существенный недостаток связанный и малыми разработками данного параметра, по пороговым уровням и нормам. Нет принятых физических и спектральных толкований и основных особенностей такого проявления.

Способы крепления датчиков измерения вибрации

Для корректного измерения параметров вибрации является качественно и надежное крепление датчика, Правильное крепление вибродатчика следует к значительному уменьшению амплитудно-частотной характеристики линейной области датчика.

Сам измерительный кабель в момент проведения измерений не должен подвергаться сильным колебаниям, так же должен быть на значительном расстоянии (по мере возможности) сильных источников электромагнитных колебаний.

Способы крепления вибродатчиков:

- крепление на шпильке;
- крепление на ручном щупе;
- крепление на магните;

Каждый из способов крепления вибродатчиков имеет свой ряд преимуществ и недостатков. На рисунке 1 показана АЧХ одного из типов пьезоэлектрического датчика вибрации общего назначения, который

закреплен по первому способу – на шпильке, поверхность установки датчика гладкая. В таком случае резонансная частота датчика совпадает с резонансной частотой при калибровке производителя

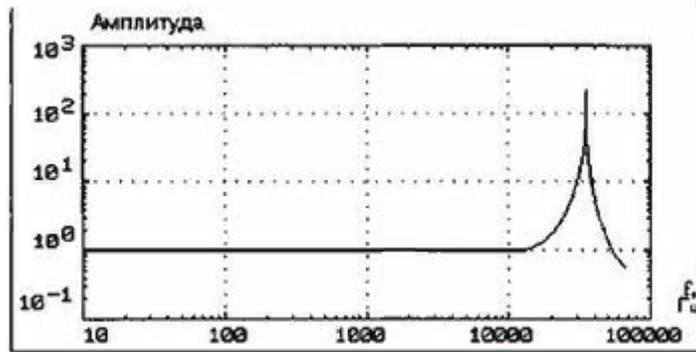


Рисунок 1 – АЧХ датчика на шпильке

Данное крепление датчика вызывает неудобства при его установке, затраты времени на установку и необходимость проведения слесарных работ.

Одним из самых простых и достаточно быстрых способов крепления вибродатчиков является крепление с помощью щупа, который соединен непосредственно с датчиком. При таком способе рабочий диапазон частот составляет (10 – 1000) Гц. На рисунке 2 представлена АЧХ вибродатчика закрепленного на щупе.

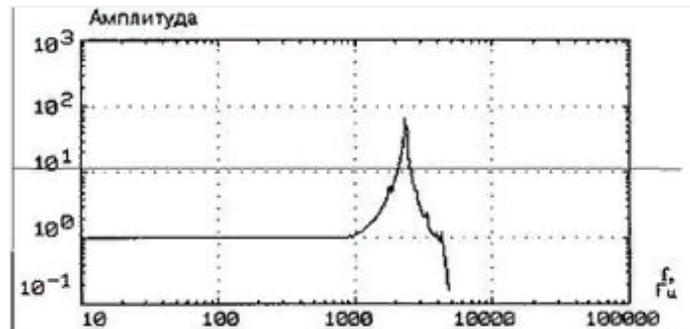


Рисунок 2 – АЧХ датчика на щупе

Угол между направлением измерения и осью датчика не должна превышать 25°. При применении щупов разных типов частотный диапазон может измениться.

Одно из наиболее широких применений и простоты крепления на магните так же на гладкой поверхности. При этом на диапазон измерений

влияет сила сцепления магнита с поверхностью измерения. АЧХ такого способа крепления представлена на рисунке 3.

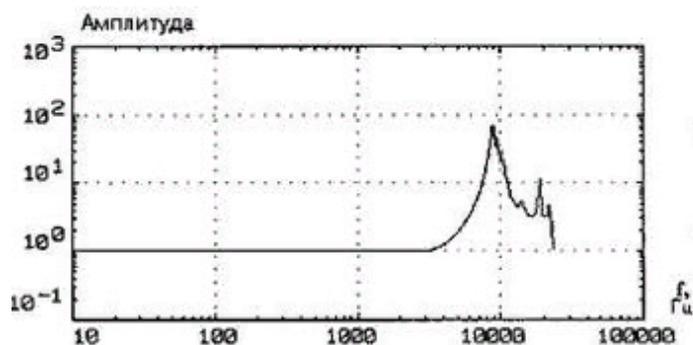


Рисунок 3 – АЧХ датчика на магните

Резонансная частота в таком виде крепления уменьшается до значения (1 – 15) кГц, так же зависит от типа магнита.

1.6 Средства измерения вибрации

Классификация средств измерения вибрации

Переносные приборы:

– виброметры –показывающие приборы, определяющие вибрацию по общему уровню, то есть по СКЗ, не имеют интерфейса и памяти;

– виброколлекторы – это такие такого же рода виброметры, измерение вибрации производится по общему уровню, имеют память и возможность передачи данных;

– виброанализаторы – многофункциональные устройства с возможностью определения амплитудно-частотных спектров, имеют сбор данных, диагностику, балансировку роторов [4].

Стационарные системы – измерительные комплексы, включающие в себя большое количество функций.

Для корректного измерения вибрации в трех плоскостях используют специальные площадки. Одним из таких площадок применяется «куб установочный» который представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Куб установочный

Куб установочный изготавливается из высокопрочной стали СТЗ. На границах куба предусматриваются специальные отверстия с резьбой М4, к которой есть возможность закрепить вибродатчик [5].

Отверстия для вибродатчиков подобраны оптимально во всех направлениях (вертикальный, поперечной, осевой) для вывода соединительного кабеля. Широкую популярность данные виды установочных кубов получили при измерении вибрации одного из видов роторных агрегатов – паровых турбин. Применяемые на электростанциях для выработки электроэнергии. Вид которой изображен на рисунке 5, а ротор на рисунке 6.



Рисунок 5 – Паровая турбина типа ПТ-65-90/13



Рисунок 6 – Ротор турбины

Турбина паровая типа ПТ-65-90/13 - конденсационная с отборами пара и возможностью их регулирования, производственным и теплофикационным.

Номинальная мощность турбины 60 МВт. Паровая турбина – это одновальный двухцилиндровый роторный агрегат, состоящий из цилиндра высокого давления (ЦВД) и цилиндра низкого давления (ЦНД). Давление такой турбины регулируется поворотной диафрагмой.

На турбину такого типа устанавливаются вибропреобразователи типа МВ-43, предназначены для преобразования механических колебаний роторных агрегатов в электрический сигнал, пропорционально виброускорению. Вибропреобразователь МВ-43 изображен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Вибпреобразователь МВ-43

Принцип работы данного вибропреобразователя основан на пьезоэлектрическом эффекте. Датчик МВ-43 жестко закреплен на

установочном кубе в одной из плоскостей (вертикальной, поперечной осевой) на болты М4.

Вибропреобразователь МВ-43 имеет отверстия под такие крепления. При вибрации агрегата, на котором закреплён датчик сила инерции объекта действует пьезоэлемента, который генерирует электрический сигнал (0-5 мА, 4-20 мА) пропорциональной амплитуде виброускорения.

Вибропреобразователь МВ-43 имеет степень защиты IP-67 по ГОСТ 14254-95, защищен от пыли, влаги, повышенной температуры, что позволяет эксплуатировать данный датчик во многих сегментах промышленности [6].

Герметичность датчика соответствует 7 классу по ОСТ 1 80396-79

На рисунке 8 изображена схема расположения датчиков МВ-43 на турбине типа ПТ-65-90/13.

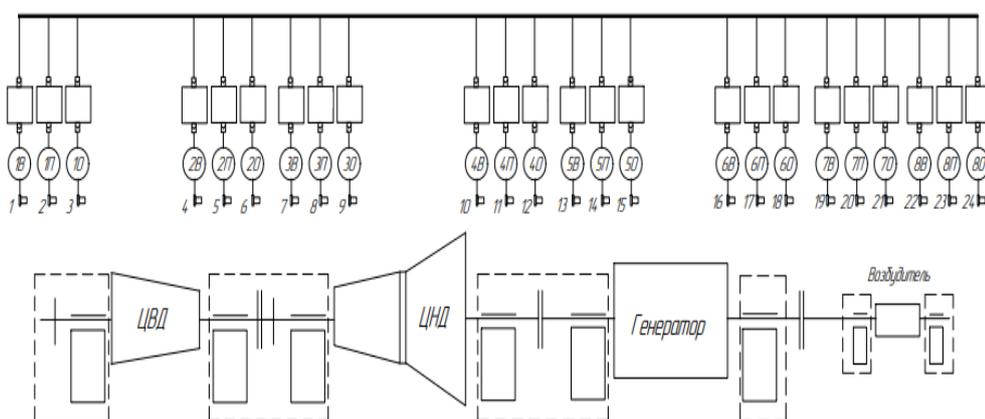


Рисунок 8 – Схема расположения датчиков

На каждый из подшипников турбогенератора расположено по 3 вибродатчика МВ-43 в трех плоскостях (вертикальной, поперечной, осевой) так же датчики установлены на возбудителе генератора. Для установки датчиков такого типа используется «куб установочный» приводимый ранее.

1.7 Анализ существующих систем контроля вибрации

Разработкой систем контроля вибрации роторных агрегатов в России занимаются две наиболее крупные компании, такие как ООО «Диамех 2000»

и НПП «Вибробит». Каждая компания выпускает на рынок полный комплекс по состоянию и отображения вибрации и защиты от нее.

Компания ООО «Диамех» выпускает комплекс под названием АЛМАЗ 7010, а НПП «Вибробит» - Вибробит 300. Обе системы по своей сути выполняют одинаковые функции, это – индикация и предупреждение вибрации, запись и хранения информации в архиве.

АЛМАЗ 7010 имеет более практичный и удобный интерфейс для пользователя, нежели Вибробит 300. Отображения измерений вибрации в АЛМАЗ 7010 выводится на собственный монитор, а в Вибробит 300 передает сигналы по линиям «4–20 мА» уже действующее оборудование АСУ ТП, соответственно выработка сигналов защит (аварий и предупреждений) производится другой системой. Это и является главным недостатком системы от компании НПП Вибробит. На рисунке 9 изображена общая схема работы обеих систем, каналы, связи передачи, обработки информации [7].

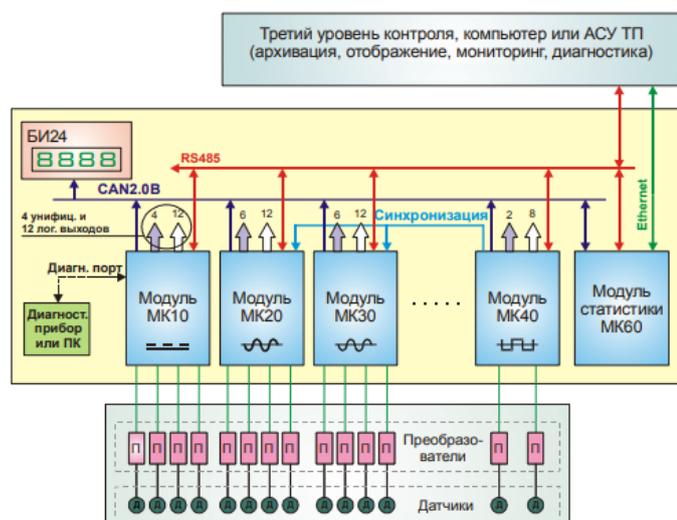


Рисунок 9 – Схема работы систем контроля вибрации

Обе системы используют одинаковый полевой уровень (датчики вибрации, преобразователи).

1.7.1 Комплекс АЛМАЗ 7010

Комплекс «АЛМАЗ–7010» применяется для измерений и контроля параметров роторных агрегатов.

Для непрерывного измерения СКЗ виброскорости на статорных элементах роторного оборудования, осевого сдвига, биений вала, относительного расширения, а также подсчет числа оборотов роторов.

Комплексы используются на объектах электроэнергетики, где используются агрегаты роторного типа (паровые турбины, электродвигатели и т.п.).

Комплекс представляет единую структуру из независимых измерительных каналов.

Комплекс обеспечивает:

- измерение СКЗ виброскорости;
- измерение искривления ротора;
- измерение линейных перемещений: ОРР, ОС, АР
- измерение наклона
- измерение числа оборотов ротора;
- индикацию результатов измерений каждого канала на цифровом табло, масштабной шкале (или светодиодном индикаторе);
- формирование релейных и цифровых управляющих сигналов о превышении уровней аварийной и предупредительной сигнализации.

Основным оборудованием комплекса АЛМАЗ 7010 является Контрольно-измерительный модуль КИМ 7803М. На рисунке 10 изображен КИМ.



Рисунок 10 - Контрольно-измерительный модуль КИМ 7803М

Контрольно-измерительные модули (КИМ) модели 7803М используются для измерений в одно и в двухканальном режимах.

Модуль имеет выходы для формирования сигналов "ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ" "АВАРИЯ" с дальнейшей передачей информации и сигналов в АСУ ТП или на щит управления. Контрольно-измерительные модули собираются в контрольно-измерительных блоках (КИБ) до 7 штук в блоке. Каждый контрольно-измерительный блок комплектуется независимым блоком питания.

Блок питания выполнен в виде модуля, который монтируется в контрольно-измерительный блок. Блок питания комплекса АЛМАЗ 7010 изображен на рисунке 11.



Рисунок 11 - Блок питания БП 7208

Модуль логики защит (МЛЗ) выполнен в виде панели и устанавливается в стойку АЛМАЗ 7010, как стандартное 19 дюймовое оборудование. МЛЗ реализован на аппаратном уровне, что обеспечивает высокую надежность в работе и обеспечивает отсутствие ложных срабатываний. Модуль логики защит (МЛЗ) формирует дискретный сигнал "АВАРИЯ", для схемы технологических защит, исходя из состояний КИМ системы.

Верхний уровень комплекса:

В состав такого уровня входят:

Аппаратная часть:

- основной сервер (устанавливается в стойке);

- доп. раб. место (устанавливается в помещении оператора).

Программная часть:

- ПО Windows;
- ПО SQL;
- ПО Алмаз-Монитор.

1.7.2 Комплекс Вибробит 300

Оборудование компании «Вибробит 300» требуется для стационарного измерения, контроля, мониторинга, параметров механического состояния паровых и газовых турбин, турбокомпрессоров.

Аппаратура выполняет:

- измерение СКЗ виброскорости;
- измерение искривления ротора;
- измерение линейных перемещений: ОРР, ОС, АР;
- измерение наклона;
- измерение числа оборотов ротора;
- передача сигналов по линиям «4–20 мА».

Применение в аппаратуре «Вибробит 300» микроконтроллеров с высокой вычислительной производительностью позволяет выполнять многоканальную цифровую обработку сигналов в режиме реального времени [8].

Питание комплекса осуществляется путем 220 В, 50 Гц, для преобразования используется модуль питания «МП 24», который представлен на рисунке 12.



Рисунок 12 – Модуль питания комплекса Вибробит 300

Анализ измерения и преобразования вибрации выполняет модуль ВМ32.

Универсальный четырехканальный блок контроля ВМ32 предназначен для измерения среднеквадратического значения (СКЗ) и размаха сигналов переменного тока методом спектрального анализа сигналов датчика в режиме реального времени, а также для измерения постоянных и тахометрических сигналов. Модуль ВМ32 изображен на рисунке 13.



Рисунок 13 - Модуль ВМ32

Так же модуль ВМ32 формирует сигналы по линиям «4-20 мА» в работающее с комплексом Вибробит 300 АСУ ТП формирующее сигналы предупреждений, аварий и блокировок.

1.8 Роторные агрегаты

Ротор – это вращающаяся часть электродвигателей, рабочих механизмов и машин. Ротор выполняется в виде барабанов, дисков, колёс.

Ротор является вращающейся частью паровой турбины, гидронасоса компрессора, гидромотора.

На рисунках 14 и 15 показаны ротора электродвигателя и генератора [9].

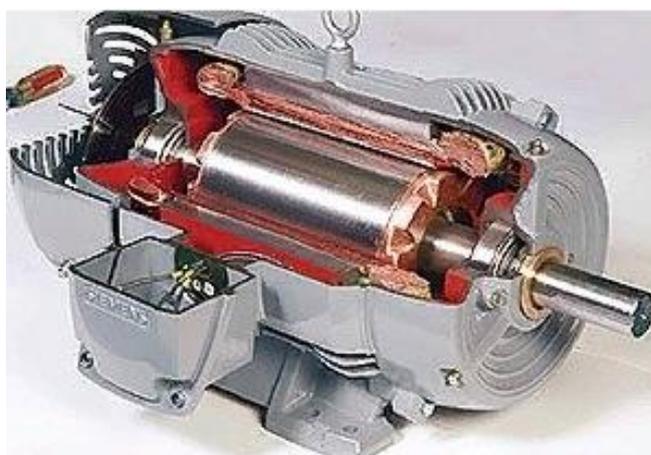


Рисунок 14 – Ротор электродвигателя



Рисунок 15 – Ротор генератора

Механизмы роторного типа уже давно получили достаточно широкое применение в промышленности в основном в электроэнергетике, где используется большое количество компрессоров, генераторов, электродвигателей, а также паровых турбин. В основе машин и механизмов

роторного оборудования лежит ротор, имеющий межопорное расположение относительно подшипников опор.

2 Дисбаланс

Дисбалансом называют одним из дефектов роторного оборудования, который приводит к резкому увеличению вибрации. Такой термин, как «дисбаланс», используется и в другой формулировке, как дебаланс или дисбаланс. В ГОСТ такой термин употребляется, как «дисбаланс». В данной пояснительной записке будет употребляться термин «дисбаланс».

Проблемой корректного диагностирования дисбаланса в работающем роторном оборудовании (электродвигателей, турбогенераторов) и быстрое проведение работ по балансировке роторов такого оборудования – является важной задачей в работе вибродиагностической организации.

Так же будут рассмотрены вопросы общего характера по диагностике дисбалансов [10].

2.1 Вопросы общего характера диагностирования дисбаланса

Одной из причин возникновения дисбаланс в роторном оборудовании может быть особенностью конструктива такого оборудования, так и его эксплуатации. Так же путем систематизирования можно определить все многообразие проявления дисбаланса оборудования, можно условно выделить небольшие группы проявления:

- общезаводской дефект при изготовлении ротора или его отдельных элементов. Недостаточное качество входного контроля, ненадлежащее условие хранения, удары при транспортировке.

- дефект не правильной сборки после ремонта либо при первичном включении.

- результат особенностей эксплуатации, которое приводит к искривлению при нагреве ротора.

По специфике и типу проявления по общей картине вибрации, по особенностям диагностирования, дисбаланс роторного оборудования можно разделить на:

- динамический дисбаланс;
- статический дисбаланс;

К основным и наиболее частым встречающимся признакам обнаружения дисбаланса роторного оборудования можно отнести:

Взяв простой временной сигнал вибрации в котором мало гармоник и практически не присутствует шум, в таком сигнале преимущественно преобладает вибрация с периодом, который соответствует оборотной частоте вращения ротора.

В таком случае амплитуда всех взятых гармоник вибросигнала в спектре намного меньше амплитуды гармоник обратной частоты вала/ротора.

Если провести сравнения с мощностью, то около 65 % сосредоточено на одной гармонике [11].

Первая гармоника вибросигнала в вертикальном направлении меньше первой гармоники спектра сигнала в поперечном направлении. Исключением будет являться оборудование с особенностями конструктива и специфическими параметрами.

Дисбаланс в осевом направлении как правило меньше уровня в радиальном направлении. Чаще всего дисбаланс проявляется сразу на обоих подшипниках. Один подшипник на проявление дисбаланса не проверяется.

2.2 Динамический дисбаланс

При рассмотрении динамического дисбаланса за основу будет взят ротор, статический дисбаланс которого равен нулю. В состоянии отключения, когда привод двигателя отключён от питания ротор уравновешен и может быть остановлен в любом положении.

С достоверной вероятностью в 90 % можно уверять, что при таком приведении ротора в движение, вибрации на его подшипниках, будут свойственна дисбалансу, то есть будет высокой.

Динамический дисбаланс определяют динамические силы, которые связаны угловой несимметрией распределения масс ротора оборудования. Причиной возникновения динамического дисбаланса, можно пояснить с помощью примера. Ротор нужно разделить на три равные части на несколько дисков. Такие диски будут иметь разные свойства. Идеальным случаем будет, когда полученные диски не будут иметь статического дисбаланса, тогда собрав ротор он не будет иметь дисбаланса.

Случай, когда, отдельно разделенные диски ротора имеют дисбаланс по отдельности и собранный из них ротор, тоже будет иметь дисбаланс, вопрос в том, статический или динамический.

Еще один случай, когда каждый разделенный диск имеет дисбаланс, но при их соединении дисбаланс удается устранить.

Такие простые примеры позволяют понять суть и возможные устранения дисбаланса роторов оборудования. Можно утверждать, что в третьем примере, одним из самых наиболее сложных из представленных, ротор будет иметь динамический дисбаланс, а во втором одновременно динамический и статический. На практике же не бывает четко одного динамического или статического дисбаланса.

Если путем проведения сдвига фаз первых гармоник в 0 градусов, то имеется ввиду статический дисбаланс, при 180 градусах с динамический дисбаланс [12].

2.3 Статический дисбаланс

Статический дисбаланс является простым, но и наиболее распространённым типом дисбаланса роторов. Диагностика его проста и не вызывает особых проблем и затруднений. Так при высокой величине

статического дисбаланса можно определить при выведении из эксплуатации оборудования, без применения контролирующих приборов вибрации. Ротор находящийся в неподвижном состоянии высоким статическим дисбалансом, всегда будет устремляться к наиболее нижней тяжелой точке.

Форму вибрационного сигнала можно практически сравнивать с синусоидальным сигналом, так на рисунке 14 можно увидеть вибрационный сигнал, который зарегистрирован на опоре подшипника.

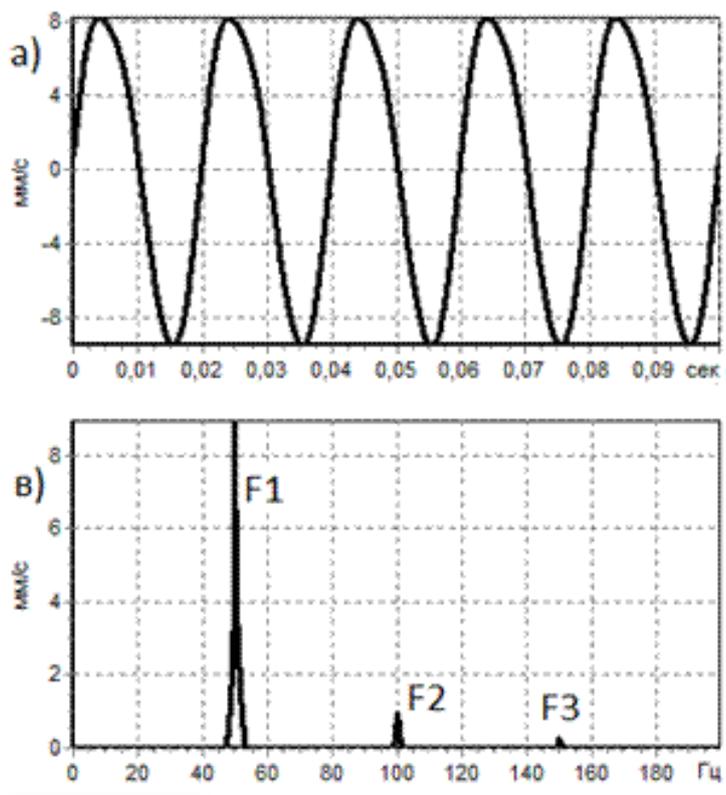


Рисунок 16 – Вибрационный сигнал и его спектр при статическом дисбалансе.

Исходя из рисунка 16 в сигнале, как и на его спектре, для условного усложнения картины, изображены несколько второстепенных гармоник. На данные гармоники не следует обращать внимание, так как это гармоники второго плана, которые вызваны дисбалансом или же трением уплотнениях вала.

При дисбалансе масс ротора во вращающемся положении осевая вибрация всегда присутствует, имеет ряд нестандартных способностей. Осевая вибрация по уровню меньше радиальных составляющих. Если

рассматривать спектр вибрационного сигнала в осевом направлении, то тут не стоит исключать вторую и третью гармоники, очень часто они стоят на ряду с первой.

Пользой при диагностировании дисбалансов является регистрации фазы вибросигналов. Контролем фаз нескольких сигналов при измерении их синхронизируют при помощи определенной метки, которая устанавливается на валу роторного агрегата. Так на синхронных машинах частота вращения ротора которых составляет 3000 об/мин в качестве метки можно брать один из параметров синусоидального сигнала питающей сети.

3 Моделирование дисбаланса

Для моделирования дисбаланса первым будет рассмотрен привод в сбалансированном состоянии. Будут проведены измерения виброскорости в нескольких точках. Крепления датчиков показаны на рисунке 17.

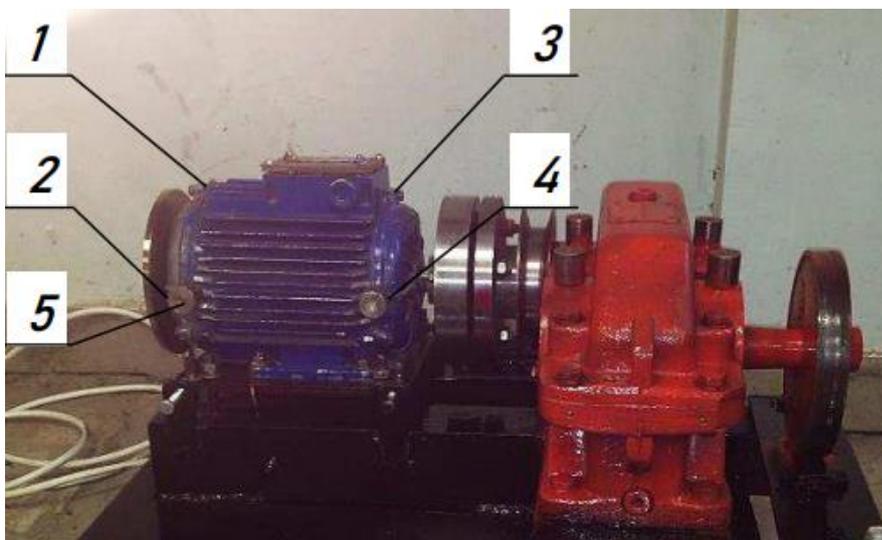


Рисунок 17 – Экспериментальная установка

Датчики в вертикальном положении – 1,3;

Датчики в горизонтальной плоскости – 2,4;

Датчик в осевом направлении – 5.

Спектры сигналов вибрации проведенных на контрольных точках в трех направлениях (горизонтальном вертикальном и осевом), показаны на рисунках 18, 19, 20, 21, 22.

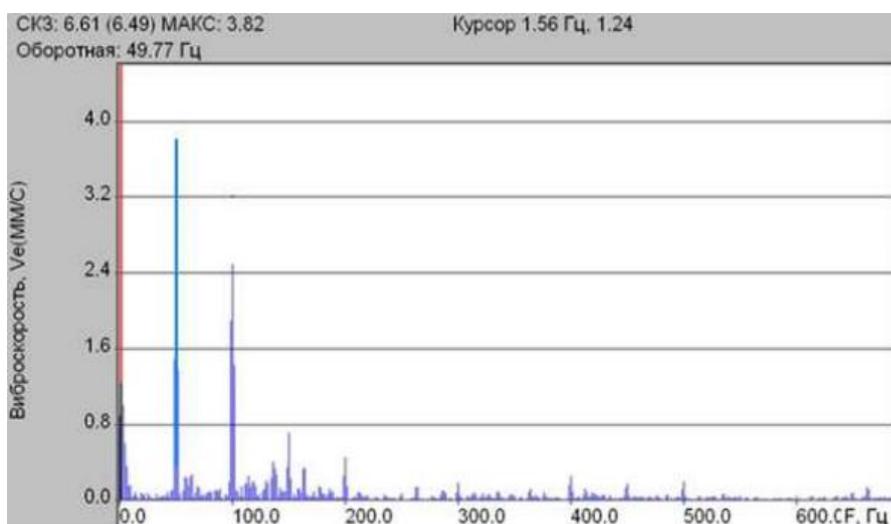


Рисунок 18 – Вертикальная составляющая (точка 1)

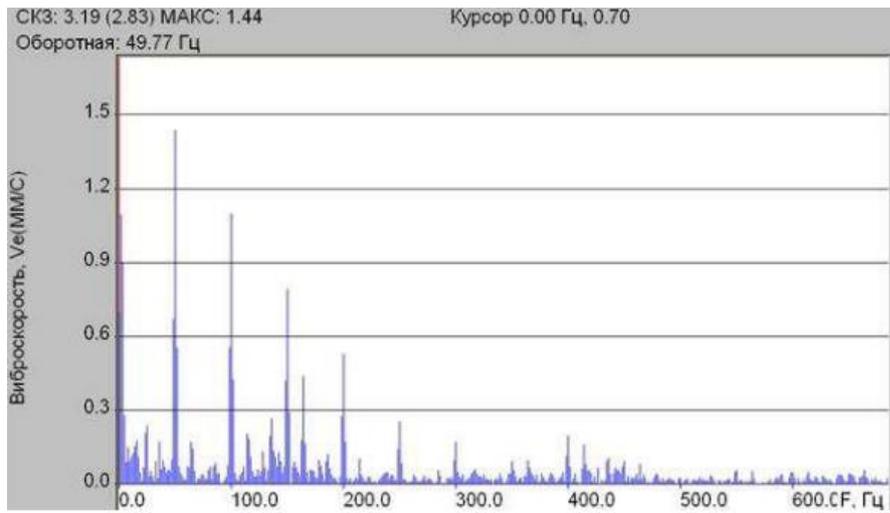


Рисунок 19 – Горизонтальная составляющая (точка 2)

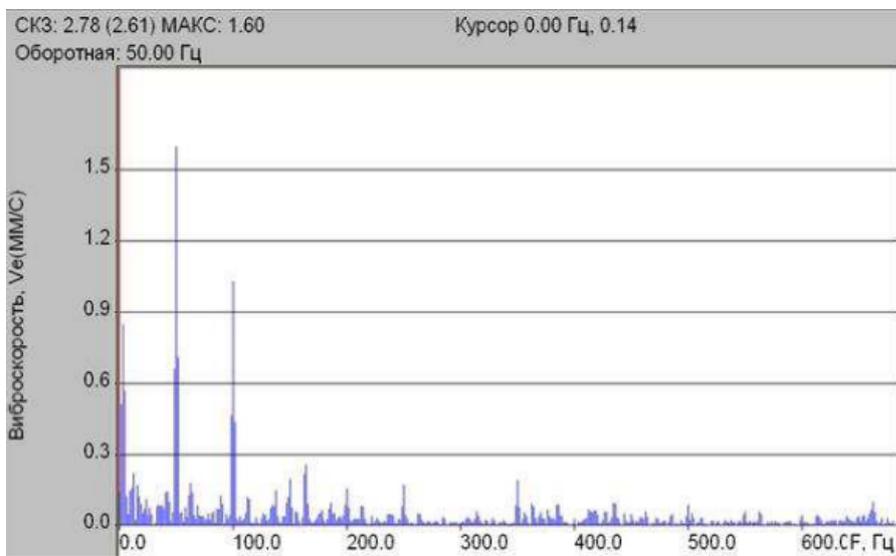


Рисунок 20 – Вертикальная составляющая (точка 3)

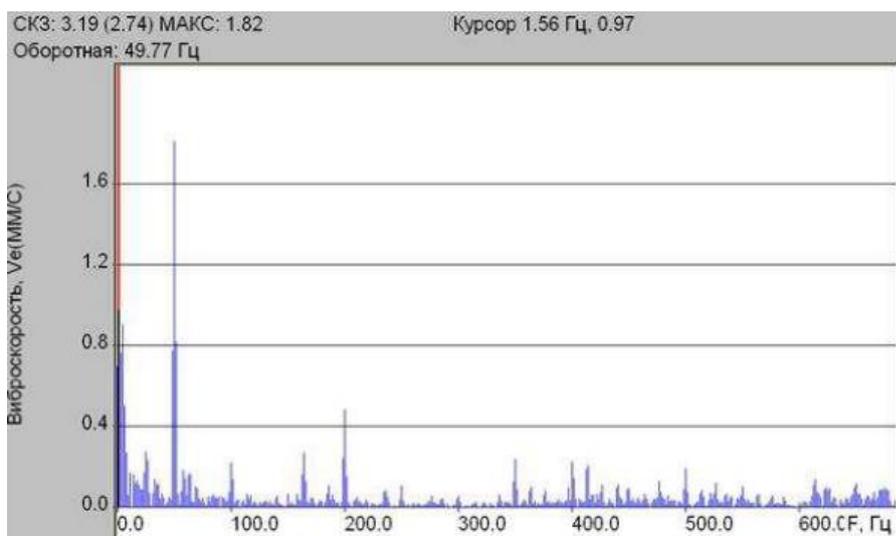


Рисунок 21 – Горизонтальная составляющая (точка 4)

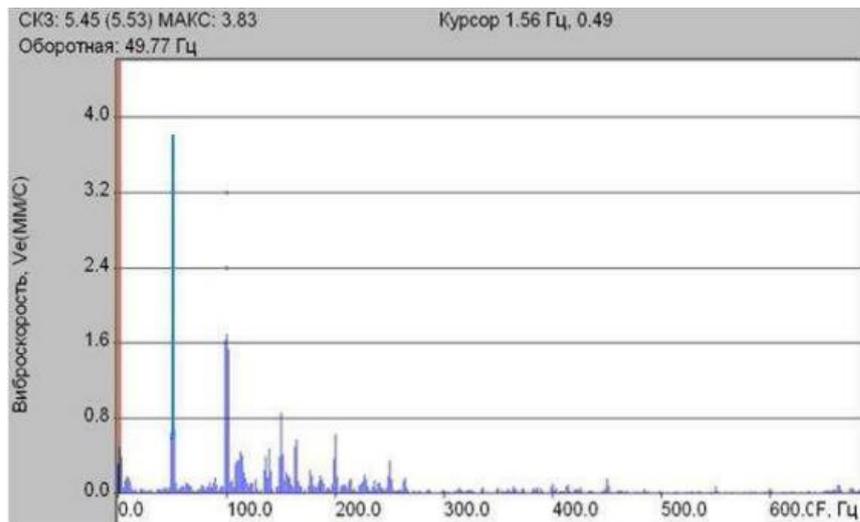


Рисунок 22 – Осевая составляющая (точка 5)

Из графиков спектров вибрации видно, что в сбалансированном состоянии вибрация не превышает 4,5 мм/с и сосредоточена в основном на первой и второй гармонике, следовательно, такой уровень является допустимым. Делаем вывод, что привод может быть использован для дальнейшей эксплуатации.

Следующим шагом моделирования дисбаланса является установка и закрепления груза. Диск крепится на валу двигателя. Место установки показано на рисунке 23.

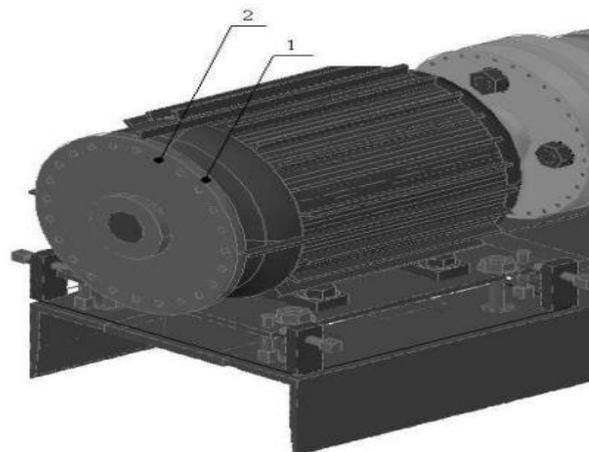


Рисунок 23 – Место установки груза

Балансировочный диск – 1;

Место крепления – 2.

После моделирования дисбаланса будут проведены измерения вибрации в тех же точках. Результаты показаны на рисунках 24, 25, 26, 27, 28.

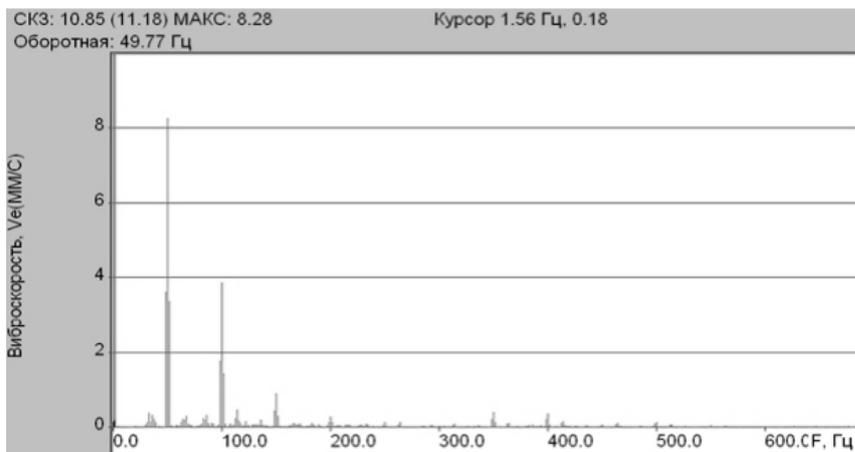


Рисунок 24 – Вертикальная составляющая вибрации при дисбалансе (точка 1)

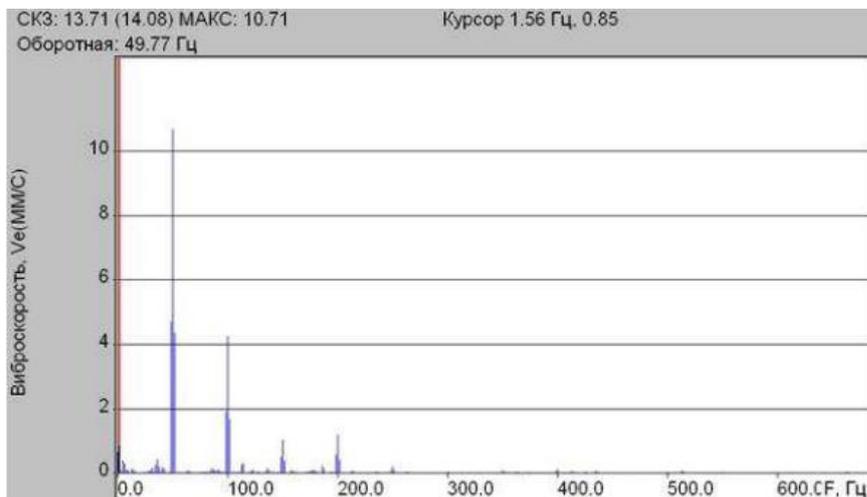


Рисунок 25 – Горизонтальная составляющая вибрации при дисбалансе (точка 2)

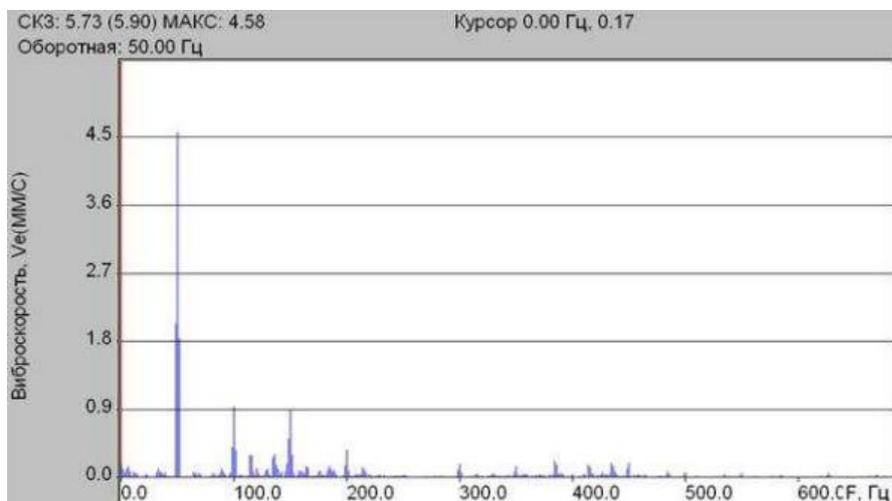


Рисунок 26 – Вертикальная составляющая вибрации при дисбалансе (точка 3)

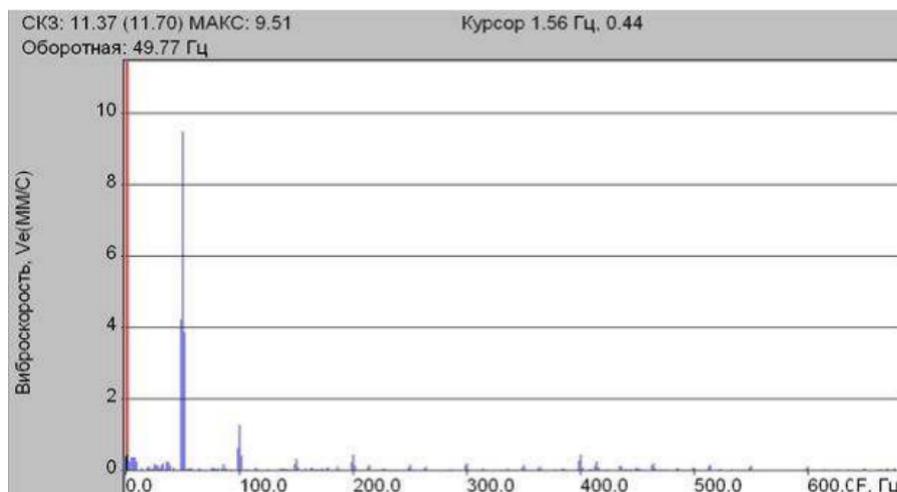


Рисунок 27 – Горизонтальная составляющая вибрации при дисбалансе (точка 4)

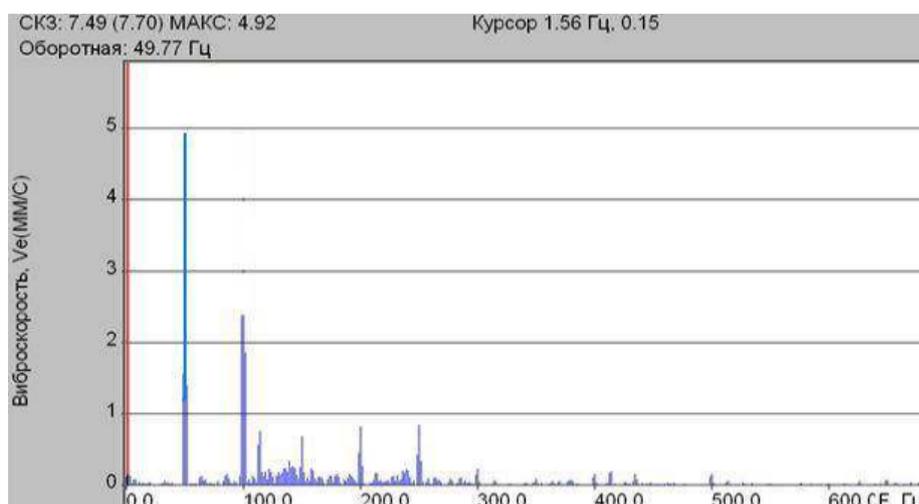


Рисунок 28 – Осевая составляющая вибрации при дисбалансе (точка 5)

Исходя из измерений вибрации на спектрах видно, что вибрация в основном на второй гармонике и превышает значение 4,5 мм/с, которое является максимальным допустимым. Значения, которые вышли за такой предел, говорят о дисбалансе электродвигателя. Данное оборудование неисправно.

3.1 Резонанс

Резонансом называют явление, когда частота силы приближена к собственной частоте системы, поэтому амплитуда вибрации увеличивается.

В роторных агрегатах сила, которая вызвана вращающимся дисбалансом, порождает синхронную, которая равняется частоте вращения самого ротора. Тем самым приближение частоты вращения ротора к собственной частоте агрегата приведет к увеличению амплитуды вибрации.

Таким образом, на частоте ротора наступает резонанс, вибрация достигает максимального числа амплитуды. Тем самым при уменьшении скорости роторного агрегата на собственную частоту всей системы амплитуда будет значительно уменьшаться [14].

Высокая составляющая вибрации резонансной частоты вызывает опасность высоких напряжений в роторе, поэтому есть вероятность контакта между статором и ротором.

3.2 Расцентровка

Такая проблема появляется при объединении двух механизмов в единый агрегат. Когда оси нескольких валов идеально совпадают, то есть один вал является продолжением другого – можно говорить о хорошем качестве центровки валов в агрегате. Если же линии валов не совпадают, то следует плохое качество центровки и это называется “расцентровка”.

Измерение величины расцентровки валов качественнее всего производить в зоне их сочленения, перед действиями по установке соединительной муфты. Качество центровки механизмов можно определять и по правильности монтажа линии вала роторного агрегата, контролируемой по его центрам опорных подшипников, хотя это сделать довольно сложно, расстояние между подшипниками существенно больше, чем между торцами центрируемых валов [15].

Появления расцентровок в работающем оборудовании много. Такие процессы изготовления, влияние технологических параметров, изменение свойств неподвижного фундамента, искривление конструкций, также

подводящих трубопроводов под воздействием изменения их температуры, изменение режима работы роторного агрегата.

При высоком многообразии форм проявления расцентровки можно выделить несколько основных видов дефекта, в частности:

- параллельная, или сдвиговая расцентровка, т.е. параллельное взаимное смещение осей центрируемых роторов оборудования друг о друга;
- угловая расцентровка, т.е. излом оси роторного агрегата в месте сочленения валов на определенный угол, при этом в зоне муфты имеет совмещение центров валов.

Расцентровка валов механизмов имеет комплексный характер, в нем присутствуют признаки и углового, и так называемого параллельного взаимного смещения валов. В своем большинстве диагностические признаки обоих типов этого дефекта также одинаковы.

3.3 Моделирование расцентровки

Для начала будет рассмотрен привод, в котором не будет присутствовать расцентровки, то есть он будет оцентрован.

Крепления датчика будут показаны на рисунке 29. В таком состоянии, когда привод оцентрован значения спектров виброскорости не должно превысить значение 4,5 мм/с.

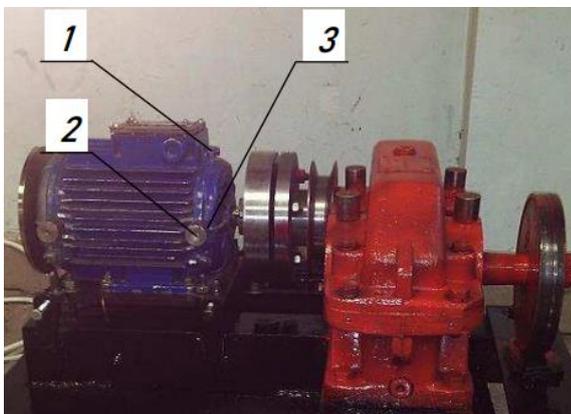


Рисунок 29 – Крепления датчика

Вертикальный датчик – 1;

Горизонтальный датчик – 2;

Осевой датчик – 3.

Сигналы спектров вибрации, измеренные на оцентрованном двигателе в тех плоскостях показаны на рисунках 30, 31, 32.

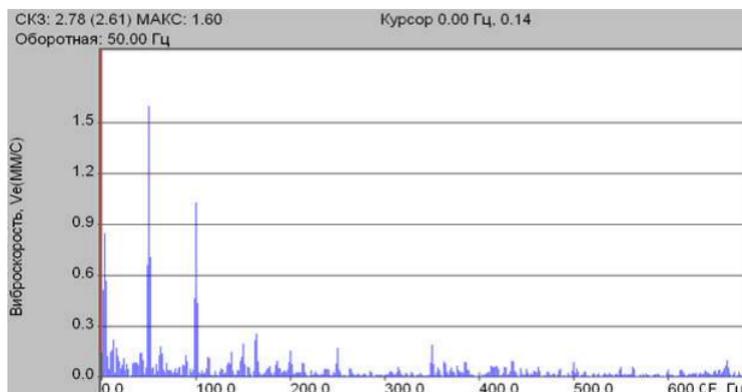


Рисунок 30 – Вертикальная точка виброскорости

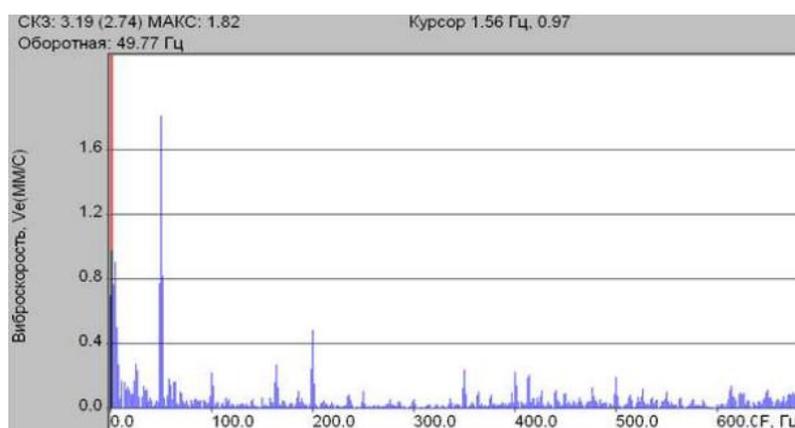


Рисунок 31 – Горизонтальная точка виброскорости

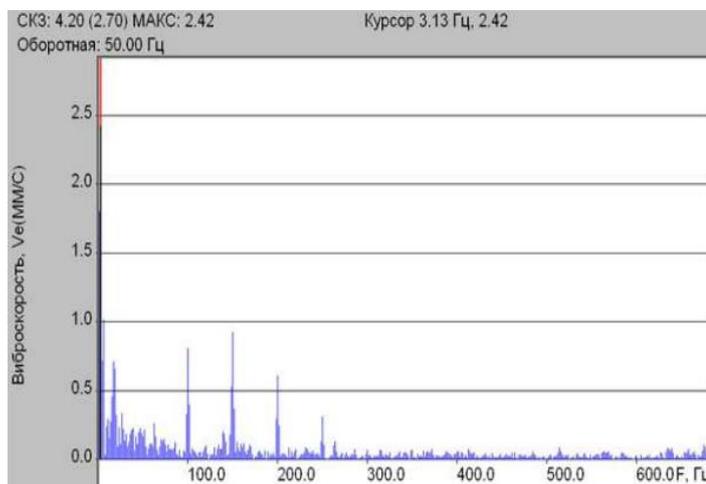


Рисунок 32 – Осевая точка виброскорости

Из спектров сигналов видим, что вибрация сфокусирована на первых трех гармониках, на значении, не превышающим 4,5 мм/с, которое является допустимым. Делаем вывод об отцентровке привода.

Путем смещения платформы относительно рамы, к которой был закреплен электродвигатель, будет смоделирована ситуация расцентровки валов. Так будут проведены измерения в трех плоскостях виброскорости (вертикальная, горизонтальная, осевая). Спектры данных сигналов будут показаны на рисунках 33, 34, 35.

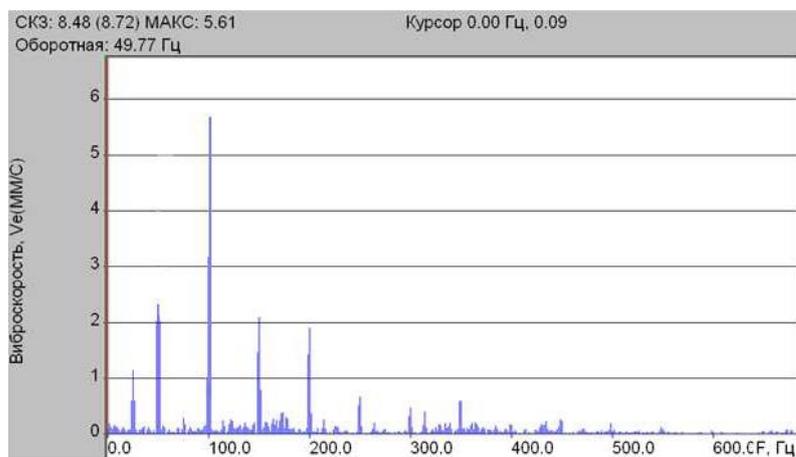


Рисунок 33 – Вертикальная точка при расцентровке

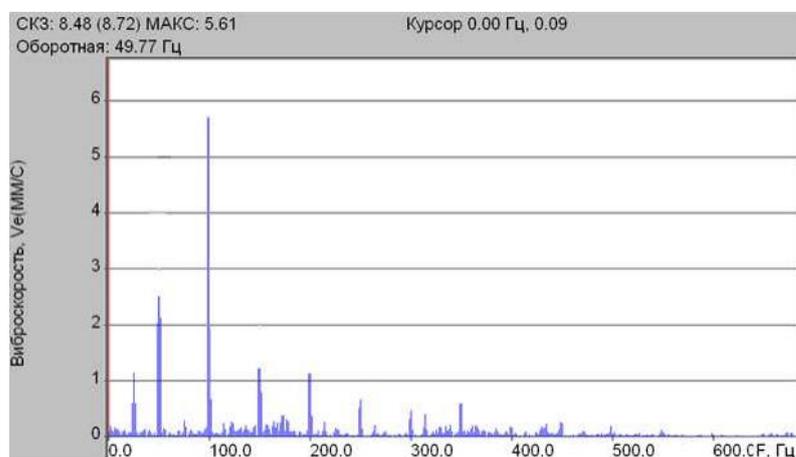


Рисунок 34 – Горизонтальная точка при расцентровке

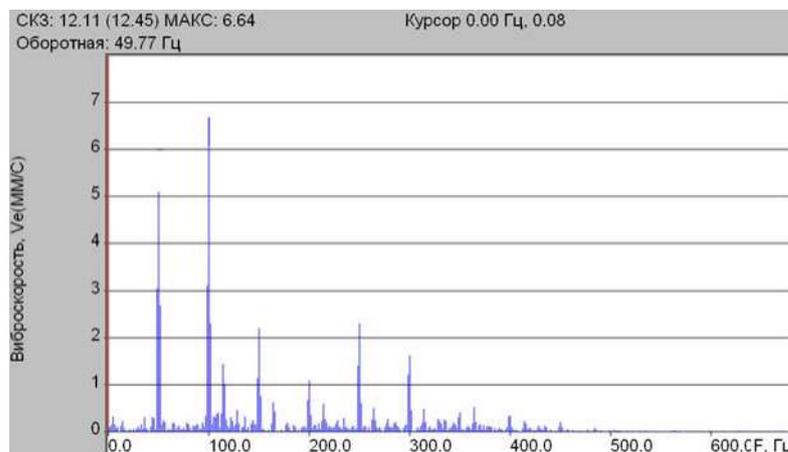


Рисунок 35 – Осевая точка при расцентровке

Исходя из измерений виброскорости в трех точках при расцентровке валов, делаем вывод о резком увеличении виброскорости на валах электродвигателя. Значения виброскорости по всем трем плоскостям превышают допустимое значение 4,5 мм/с.

На спектрах горизонтальной и вертикальной составляющих уровень виброскорости сосредотачивается на второй гармонике. На осевой точке измерения виброскорости, такой всплеск виден на первой и второй гармонике.

4 Результаты исследований

4.1 Статический дисбаланс

Статический дисбаланс возникает, когда одна основная ось инерции смещена параллельно оси вращения.

Значения ΔH , ΔV , ΔO , ΔO_H – разность фаз, в вертикальной, горизонтальной и осевой вертикальной и осевой горизонтальной плоскостях.

Результаты моделирования статического дисбаланса при частоте вращения ротора 49,5 Гц представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений при статическом дисбалансе

Напр. Оси датчик	Электродвигатель				Редуктор			
	1		2		1		2	
а	Вибра ция, мм/с	Фаза, град	Вибра ция, мм/с	Фаза, град	Вибра ция, мм/с	Фаза, град	Вибра ция, мм/с	Фаза, град
$V_{\text{верх}}$	36,013	58,6	4,193	112,1	18,434	224,9	43,663	221,4
$V_{\text{низ}}$	24,048	125,7	6,004	240	13,950	33,7	46,323	54,6
ΔV	11,974	67,2	1,185	135,4	5,144	195	3,433	167,7
$H_{\text{лев}}$	14,280	118,3	16,351	70,8	11,325	39,4	12,293	40,8
$H_{\text{прав}}$	13,458	273,5	14,234	311,1	7,894	243	13,434	217,5
ΔH	0,254	155,7	2,143	240,5	3,434	201	1,943	136,9
$O_{\text{верх}}$	14,874	285,8	18,432	163,1	46,544	243	31,493	61,7
$O_{\text{низ}}$	15,874	134,2	14,443	189,1	18,814	130	12,434	123,5
ΔO_V	0,518	150,3	4,043	20,9	17,982	112	19,797	68
$O_{\text{лев}}$	11,556	319,1	14,434	157,8	6,993	316	22,653	68,6
$O_{\text{прав}}$	2,798	224,4	17,455	61,9	21,028	224	26,949	220,9
ΔO_h	8,703	98	3,223	98,4	14,333	89,2	5,133	154,6

Проведя анализ полученных данных, а именно анализ данных фазовых углов, получаем следующие закономерности и выводим следующие правила.

Правило 1. Разница фаз в направлении оси (осевое направление)

То есть, контрольным числом тут будет 170° , так как в момент эксперимента не были превышены результирующие значения.

Соответственно значения ΔO_h и ΔO_v – разница фаз в осевом горизонтальном и осевом вертикальном направлении. Правило 1 отображено в таблице 2. [16]

Таблица 2 – Выведенное правило 1

Правило	Электродвигатель	
	1	2
$\Delta O_v \leq 170$	$150,3 \leq 170$	$20,9 \leq 170$
$\Delta O_h \leq 170$	$98 \leq 170$	$98,4 \leq 170$

Правило 2. Разница фаз в горизонтальном и вертикальном направлении.

Если разница фаз между значениями ΔH и ΔV будет составлять 90° , то в роторном агрегате присутствует дисбаланс.

Значения ΔV и ΔH – разница фаз в горизонтальном и вертикальном направлении. Правило 2 отображено в таблице 3.

Таблица 3 – Выведенное правило 2

Правило	Электродвигатель	
	1	2
$\Delta V - \Delta H = 90 \pm 10^\circ$	88,5	101,5

4.2 Динамический дисбаланс

Динамический дисбаланс проявляется тогда, когда центральная ось инерции не параллельна, не пересекает ось вращения ротора.

Динамический дисбаланс был смоделирован при частоте вращения ротора 49,5 Гц. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты измерений при статическом дисбалансе

Напр. Оси датчи ка	Электродвигатель				Редуктор			
	1		2		1		2	
	Вибрация, мм/с	Фаза, град	Вибрация, мм/с	Фаза, град	Вибрация, мм/с	Фаза, град	Вибрация, мм/с	Фаза, град
$V_{\text{верх}}$	56,013	59,6	4,194	112,2	18,565	224, 1	43,254	221,4
$V_{\text{низ}}$	23,048	125,7	6,054	250	13,950	33,5	46,565	54,7
ΔV	32,974	67,5	1,652	135,1	5,153	199	3,433	167,9
$H_{\text{лев}}$	12,280	168,8	16,562	72,9	11,345	40,3	12,293	40,8
$H_{\text{прав}}$	15,458	283,5	17,434	311,7	7,894	254	15,434	218,5
ΔH	0,264	155,8	2,783	240,9	3,434	256	1,943	136,1
$O_{\text{верх}}$	12,874	295,4	18,972	145,5	46,479	241	31,493	62,7
$O_{\text{низ}}$	13,878	144,2	14,443	19,1	18,814	133	12,655	123,5
ΔO_V	0,525	97,2	4,098	125,7	17,645	112	19,797	69
$O_{\text{лев}}$	11,554	319,1	12,494	157,1	6,993	319	22,653	68,7
$O_{\text{прав}}$	2,757	224,4	17,455	61,3	21,028	229	26,949	220,9
ΔO_h	8,703	98,5	3,228	90,4	14,333	89,2	5,133	154,1

Проведя анализ полученных данных, а именно анализ данных фазовых углов, получаем следующие закономерности и выводим следующие правила.

Правило 1. Разница фаз в направлении оси (осевое направление).

То есть, контрольным числом тут будет 170° , так как в момент эксперимента не были превышены результирующие значения.

Соответственно значения ΔO_h и ΔO_V разница фаз в осевом горизонтальном и осевом вертикальном направлении. Правило 1 отображено в таблице 5.

Таблица 5 – Выведенное правило 1

Правило	Электродвигатель	
	1	2
$\Delta O_V \leq 170$	$97,2 \leq 170$	$125,7 \leq 170$
$\Delta O_h \leq 170$	$98,5 \leq 170$	$90,4 \leq 170$

Правило 2. Разница фаз в направлении оси (осевое направление).

Если разница фаз между значениями ΔH и ΔV будет составлять 90° , то в роторном агрегате присутствует дисбаланс. [17]

Значения ΔV и ΔH – разница фаз в горизонтальном и вертикальном направлении. Правило 2 отображено в таблице 6.

Таблица 6 – Выведенное правило 2

Правило	Электродвигатель	
	1	2
$\Delta V - \Delta H = 90 \pm 10^\circ$	87,8	48,3

4.3 Резонанс

Резонанс возникает при достаточно резком увеличении амплитуды колебаний, при совпадении частоты внешних воздействий, определяемых свойствами системы.

Резонанс является определенным откликом системы на поданное на него внешнее воздействие, тем самым появляется резкое увеличение амплитуды.

Резонанс в данной работе был смоделирован на частоте вращения ротора электродвигателя 37,9 Гц, что соответствует 2274 оборота в минуту, результаты измерений при резонансе занесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Результаты измерений при резонансе

Напр. Оси датчика	Электродвигатель		Редуктор	
	1		2	
	Вибрация, мм/с	Фаза, град	Вибрация, мм/с	Фаза, град
$V_{\text{верх}}$	12,756	241	18,346	77,7
$V_{\text{низ}}$	11,366	67,5	16,429	259,1
ΔV	1,391	173,5	1,917	181,4
$H_{\text{лев}}$	19,079	70,1	7,813	123,3
$H_{\text{прав}}$	19,304	254,5	20,519	255,5
ΔH	0,225	184,4	12,706	175,8

Проведя анализ полученных данных, а именно анализ данных фазовых углов, получаем следующие закономерности и выводим следующие правила.

Правило 1. Разница фаз в направлении оси (осевое направление).

Значения ΔO_h и ΔO_v – разница фаз в осевом горизонтальном и осевом вертикальном направлении – должно быть $180 \pm 10^\circ$ либо равняться нулю.

Правило 1 отображено в таблице 8.

Таблица 8 – Выведенное правило 1

Правило	Электродвигатель	Редуктор
$\Delta V = 0$	173,5	181,4
$\Delta V = 180 \pm 10^\circ$		
Правило	Электродвигатель	Редуктор
$\Delta H = 0$	184,4	175,8
$\Delta H = 180 \pm 10^\circ$		

4.4 Расцентровка

Как уже было сказано выше, расцентровка валов – это смещение осей роторов друг относительно друга.

Моделирование расцентрованных валов будет производиться на частоте вращения ротора 49,5 Гц, что соответствует 2964 оборотам в минуту.

Результаты занесены в таблицу 9.

Таблица 9 – Результаты исследований при расцентровке

Напр. Оси датчик	Электродвигатель				Редуктор			
	1		2		1		2	
	Вибра ция, мм/с	Фаза, град	Вибра ция, мм/с	Фаза, град	Вибра ция, мм/с	Фаза, град	Вибра ция, мм/с	Фаза, град
$V_{\text{верх}}$	27,013	237	8,191	16,2	22,575	25,7	43,652	21,9
$V_{\text{низ}}$	22,454	58,7	9,052	211	25,450	133,5	46,574	254,8
ΔV	5,640	179,5	1,602	195,1	3,153	165,7	3,473	167,9
$H_{\text{лев}}$	1,280	123,8	7,563	211	11,345	240,3	12,293	41,8
$H_{\text{прав}}$	0,458	364,5	6,415	14	7,894	14	15,410	218,6
ΔH	1,505	210	0,781	173,4	3,434	192,7	1,916	116,3
$O_{\text{верх}}$	14,874	245,4	8,912	4,9	47,479	51,6	31,474	194
$O_{\text{низ}}$	12,868	144,1	23,841	199,1	25,754	38	12,652	251
ΔO_V	0,525	226,3	14,023	143,5	18,242	68	19,721	28
$O_{\text{лев}}$	7,554	310,1	12,494	45,1	7,977	39	23,651	212
$O_{\text{прав}}$	3,787	34	10,455	261,3	16,012	46	26,545	210
ΔO_h	0,713	188	7,129	187,3	0,541	7,2	6,192	6,6

Из анализа данных таблицы 9 получаем данные закономерности, в результате которых выводим такое правило.

Правило 1. Разница фаз при вертикальном и горизонтальном направлении.

В данном правиле разница фаз в направлении горизонтали должна быть больше 150° и не должна равняться разнице фаз в направлении вертикали. Выведенное правило отображено в таблице 10.

Таблица 10 – Выведенное правило 1

Правило	Электродвигатель	
	1	2
$\Delta H \geq 150$	$173,4 > 150$	$192,7 > 150$
$\Delta H \neq \Delta V$	$173,3 \neq 194,5$	$192,7 \neq 165,7$

4.5 Балансировка ротора

Балансировкой называют процесс уравнивания вращающихся частей оборудования – роторов турбоагрегатов, электродвигателей, колес автомобилей и т.д.

Для проведения балансировки требуется специализированное оборудование. Балансировка может выполняться как на оборудовании, не находящемся в работе, так и на оборудовании, находящемся в эксплуатации. Балансировка роторов включает в свой список определение углов и значений дисбаланса, так же установку масс для корректирования и уравнивания ротора.

При использовании программного обеспечения виброанализатора СД-21 для расчета балансировочных масс ротора будет использован метод коэффициентов влияния.

Производится расчет чувствительности ротора на вибрации во всех трех точках измерения.

Таким образом, будет учитываться влияние каждой точки на вибрацию. Для проведения эксперимента путем балансировки ротора электродвигателя с использованием программного обеспечения для

виброанализатора СД-21, за основу измеренных значений будут взяты данные в момент входа ротора двигателя в дисбаланс показанные на рисунках 36, 37, 38.

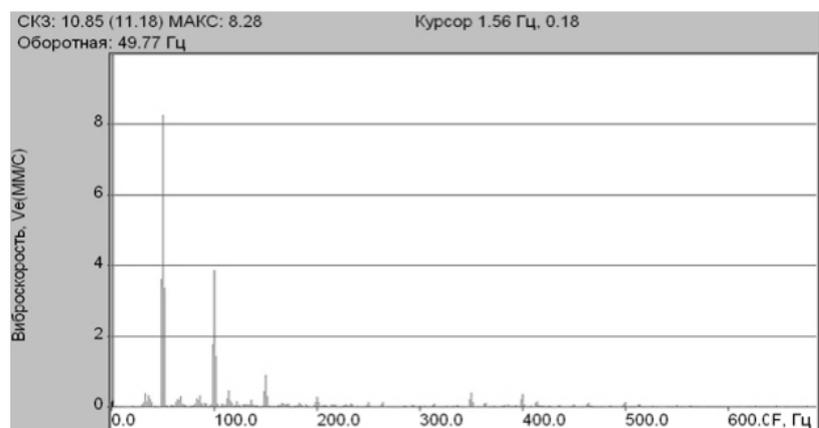


Рисунок 36 – Вертикальная составляющая вибрации при дисбалансе

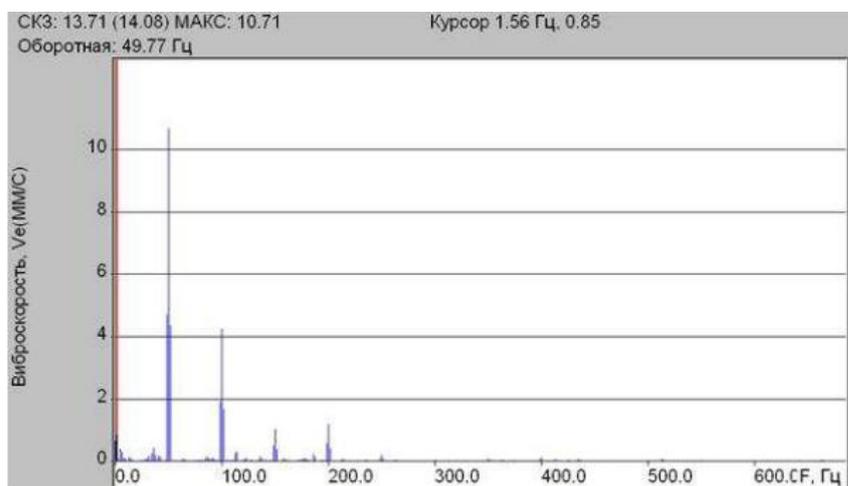


Рисунок 37 – Горизонтальная составляющая вибрации при дисбалансе

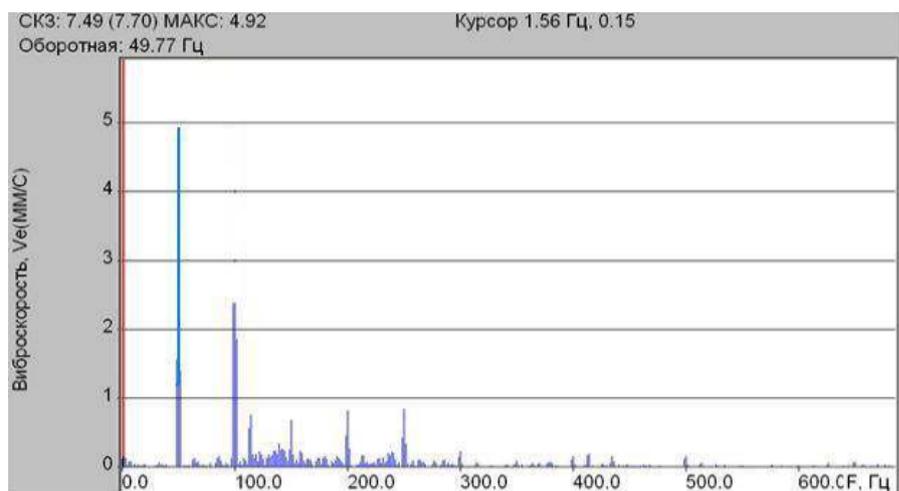


Рисунок 38 – Осевая составляющая вибрации при дисбалансе

Так же на рисунке 39 будет показана структурная схема автоматизированной системы контроля вибрации роторных агрегатов по параметрам дисбаланса.

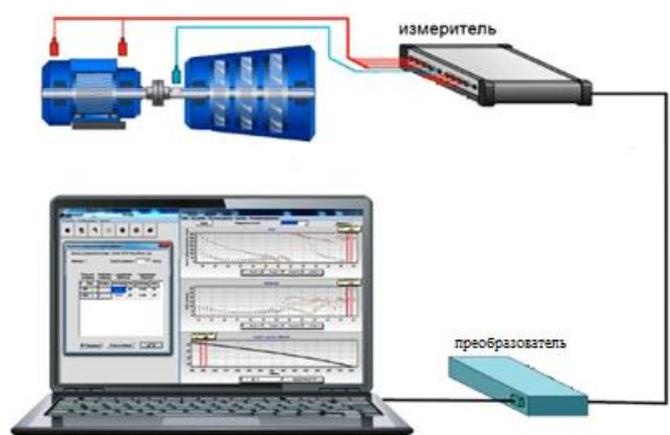


Рисунок 39 – Структурная схема автоматизированной системы

Автоматизированная система контроля вибрации роторных агрегатов по устранению дисбаланса электродвигателя состоит из компьютера с программным обеспечением и группы многоканальных измерителей.

Минимальным количеством каналов является 3 канала измерения, а максимальным 24.

Балансировка будет производиться по измеренным параметрам виброскорости. Для диагностирования причин возникновения вибрации не центробежных колебаний использованы узкополосные спектры виброскорости в каждой из точек измерения.

На рисунках 40, 41, 42 будут показаны спектры вибросигналов с устраненным дисбалансом в трех плоскостях (горизонтальной, вертикальной, осевой).

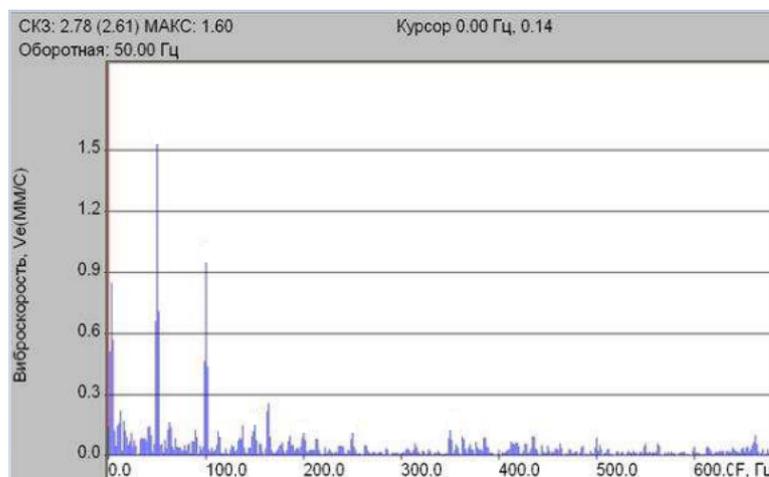


Рисунок 40 – Вертикальная составляющая при балансировке ротора

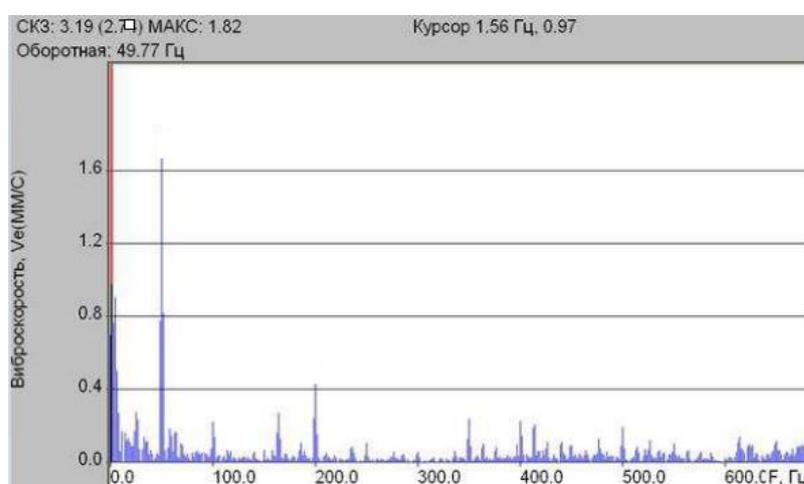


Рисунок 41 – Горизонтальная составляющая при балансировке ротора

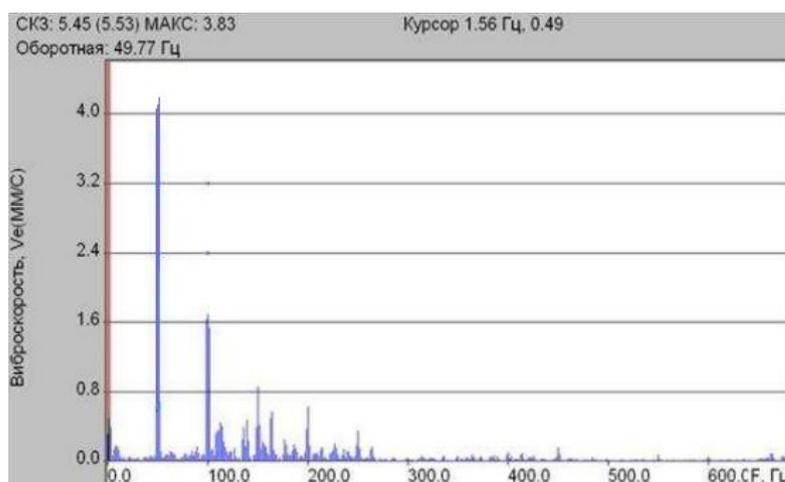


Рисунок 42 – Осевая составляющая при балансировке ротора

Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод об успешной балансировке роторов электродвигателя с помощью программных средств автоматизированной системы контроля вибрации. Значения виброскорости

во всех трех плоскостях (горизонтальная, вертикальная, осевая) не превышает допустимого значения 4,5 мм/с.

4.6 Определение пределов погрешностей

Пределы допускаемых погрешностей виброускорения будут оцениваться в процентах с доверительной вероятностью 0,95 по формуле (1):

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{\delta_{\text{АЧХ}}^2 + \delta_{\text{КП}}^2 + \delta_{\text{ПП}}^2 + \delta_{\text{T}}^2 + \delta_{\text{Г}}^2}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{АЧХ}}$ – неравномерность амплитудно частотной характеристики в диапазоне частот, преобразуемых виброускорений;

$\delta_{\text{КП}}$ – пределы допускаемых отклонений действительных значений коэффициентов преобразования от номинального значения на базовой частоте;

$\delta_{\text{ПП}}$ – относительный коэффициент поперечного преобразования;

δ_{T} – пределы допускаемых отклонений коэффициентов преобразования от действительных значений, вызванных изменением температуры окружающей среды. [18]

$$\delta = \pm 1,1 \sqrt{5 \% + 5 \% + 5 \% + 10 \%} = \sqrt{35 \%} = 5,9 \%$$

Предел допускаемых погрешностей виброускорения доверительной вероятностью 0,95 будет 5,9 %.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью дипломной работы: является разработка одного из дополнительных методов диагностики вибрации используя метод фазовых углов.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта разработке дополнительного метода измерений вибрации роторных агрегатов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Определить потенциальных потребителей результатов исследования;
- 2) Провести анализ конкурентных технических решений;
- 3) Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта;
- 4) Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации;
- 5) Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта;
- 6) Рассчитать бюджет научного исследования;
- 7) Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

5.1 Потенциальные потребители результатов исследований

В процессе написания магистерской диссертации были определены потенциальные потребители результатов исследования. К ним можно

отнести предприятия электроэнергетической сферы в основном, так же предприятия на которых используется оборудование роторного типа.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования агрегатов роторного типа. Результаты сегментирования представлены в рисунке 43.

		Синтез УКЖИ ¹¹ С			
		Электростанции	Тепловые и атомные станции	Научная отрасль	Металлургия
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 43 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию дисперсионного ядерного топлива

Из анализа карты можно сделать вывод, что наибольшую потребность в использовании роторного оборудования испытываются, отрасли, связанные с тепловыми турбогенераторами и большим количеством электродвигателей и запорной арматуры. Но у данного способа использования оборудования роторного типа есть ряд недостатков, основным из них является сильная вибрация, исходящая из эксплуатируемого оборудования. При дальнейшем развитии способов борьбы с вибрацией возможно достигнуть желаемых результатов данной сферы [19].

5.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают

в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в разрабатываемый объект. Чтобы выявить ресурсоэффективность разработки и определить направления для ее будущего повышения, необходимо провести анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 11.

Таблица 11 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _п	Б _з	Б _х	К _п	К _з	К _х
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1.Повышение производительности труда	0,25	5	5	2	0,75	0,75	0,50
2.Удобство в эксплуатации	0,12	5	5	2	0,60	0,60	0,24
3. Энергоэкономичность	0,10	4	4	3	0,40	0,40	0,30
4. Надежность	0,12	3	3	5	0,36	0,36	0,60
5.Простота эксплуатации	0,14	5	5	2	0,70	0,70	0,28
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	2	0,35	0,28	0,14
2. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	2	5	0,21	0,14	0,35
3. Цена	0,08	5	4	3	0,40	0,32	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
Итого	1	38	35	29	3,92	3,70	2,90

В таблице представлены следующие показатели конкурентоспособности методов устранения вибрация: (П), контроль вибрации путем установки дополнительных датчиков (З), устранении вибрации путем балансировки роторов (Х), установка дополнительного оборудования по контролю вибрации. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – слабая позиция, а 5 – сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (2):

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (2)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_K = \frac{K_{II}}{K_{3Xcp}} = \frac{3,92}{(3,70 + 2,90) / 2} = 1,19.$$

Так как $k_K > 1$, следовательно, предложенный метод анализа и контроля устранения вибрации конкурентоспособен. Дисбаланс роторного оборудования является одной из основных проблем возникновения вибрации.

5.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой сводную таблицу, иллюстрирующую связь между внутренними и внешними факторами компании. Целью данного анализа является описание сильных и слабых

сторон проекта, выявление возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

В таблице 12 приведена матрица SWOT-анализа для дисбаланса роторного оборудования.

Таблица 12 – Матрица SWOT

	Сильные стороны С1. Предварительное моделирование. С2. Возможность заранее выявить дефект. С3. Экологичность метода.	Слабые стороны Сл1. Затраты на отработку технологии и ее внедрение. Сл2. Сложность конструкции технологического оборудования.
Возможности В1. Создание рынка по методам устранения дисбаланса В2. Рост спроса со стороны предприятий энергетического уровня.	В1С1 Разработка систем контроля вибрации для энергетической сферы. В2С3 Высокое качество целевого продукта на выходе. В2С2 Использование большого количества датчиков вибрации.	В1Сл1 Необходимость отработки технологии для устранения дисбаланса. В2Сл2 Высокая вероятность износа конструктивных элементов при непрерывной работе.
Угрозы У1. Усовершенствования конкурентных технических решений. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.	У1С1 Возможность оптимизации метода контроля вибрации. У2С2 Привлечение дополнительного финансирования со стороны государства на увеличение мощности технологического оборудования.	У1Сл1 Финансирование технологий отработанных на протяжении десятков лет. У2Сл2 Возможность возникновения простоя производства в случае поломки.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными в сложившейся ситуации являются следующие стратегии:

1. Необходимо отрабатывать проектируемую технологию контроля дисбаланса роторного оборудования;

2. Необходимо обеспечить запас комплектующих для своевременной замены при поломке оборудования.

5.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

Далее была проведена оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации и выяснение уровня собственных знаний для ее проведения. Для этого была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенций разработчика научного проекта. Форма представлена в таблице 13.

Таблица 13 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

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

Продолжение таблицы 13

6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
8.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	5
9.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	5
10.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	5
11.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	4
12.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	4	4
13.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	5
14.	Проработан механизм реализации научного проекта	2	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	42	57

При проведении анализа по таблице, приведенной выше, по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5

баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле (3):

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (3)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что перспективность коммерциализации данного НТИ находится на среднем уровне. Этот уровень можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта, которая включает в себя анализ рынков сбыта, разработку бизнес-плана и т.д.

5.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок:

– Торговля патентными лицензиями, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе.

– Передача ноу-хау, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

– Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг.

– Франчайзинг, т.е. передача или переуступка разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

– Организация собственного предприятия.

– Передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

– Организация совместного предприятия, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

– Организация совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Таким образом, для данного научно-технического исследования наиболее предпочтительным является такой метод коммерциализации как торговля патентными лицензиями. Так как лицензиар не вкладывает собственных средств в производство, следовательно, не несет расходов по сбыту и т.д.

5.6 Инициация проекта

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1) Цели и результат проекта.

Приведем информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Частные инвесторы	Увеличение удельной энергоёмкости нового вида топлива
Интер РАО	Альтернативной способ устранения дисбаланса роторного оборудования

В таблице 15 представлена информация об иерархии целей проекта и критерия достижения целей.

Таблица 15 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Создание альтернативного метода устранения дисбаланса роторного оборудования
Ожидаемые результаты проекта:	Устранения вибрационных характеристик подшипников роторного оборудования
Критерии приемки результата проекта:	Электродвигатель с заданными параметрами вибрации
Требования к результату проекта:	Требование:
	Высокая точность измерения
	Высокая вибрационная стойкость

2) Организационная структура проекта.

Далее определены участники рабочей группы данного проекта, роль каждого участника в данном проекте, а также функции, выполняемые

каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эта информация представлена в таблице 16.

Таблица 16 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.
1	Афанасьев М.А., ТПУ, магистр	Разработка системы контроля вибрации роторных агрегатов	Основной разработчик проекта	584
2	Худоногова Л.Ю., ТПУ, доцент	Консультации по основным вопросам темы	Руководитель проекта	432
ИТОГО:				1016

5.7 Планирование управления научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение задания	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И, НР

Продолжение таблицы 17

	3	Изучение материалов по теме вибрации	И
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение ряда экспериментов по вибрации	И, НР
	7	Анализ полученных результатов	И, НР
Обобщение и оценка результатов	8	Составление отчета по работе	И

В рамках планирования научного проекта был построен календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	1	25.02.2022	26.02.2022	Афанасьев М.А. Худоногова Л.И.
2	Календарное планирование работ по теме	3	1.03.2022	3.03.2022	Афанасьев М.А. Худоногова Л.И.
3	Изучение материалов по теме вибрации	9	4.03.2022	12.03.2022	Афанасьев М.А.
4	Анализ литературных источников по устранению вибрации и дисбаланса	10	15.03.2022	24.03.2022	Афанасьев М.А.
5	Выбор методов контроля вибрации	5	25.03.2022	29.03.2022	Афанасьев М.А. Худоногова Л.И.

Продолжение таблицы 18

6	Проведение ряда экспериментов по вибрации	25	30.03.2022	23.04.2022	Афанасьев М.А. Худоногова Л.И.
7	Анализ полученных результатов	30	26.04.2022	25.05.2022	Афанасьев М.А. Худоногова Л.И.
8	Составление отчета по работе	6	26.05.2022	31.05.2022	Афанасьев М.А.
ИТОГО:		89			

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

График строится в виде таблицы 19 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 19 – Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, инженер	1												
2	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, инженер	3												

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).

Отразим стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, на доставку. Эти данные представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Программное обеспечение Windows	Шт	1	13000	13000
Программное обеспечение Вибробит	Шт	1	15000	15000
Итого:				30945

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле (4):

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4)$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (5):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: 10,4;

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

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p,$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Таблица 21 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней – выходные дни – праздничные дни	118	118
Потери рабочего времени: – отпуск – невыходы по болезни	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_m = 38050 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 64304,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{56277 \cdot 10,4}{247} = 2707,6 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 2331,8 \cdot 54 = 146208,1 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_m = 14874,45 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25137,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{25137,82 \cdot 10,4}{247} = 1058,4 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 1058,43 \cdot 73 = 77265,7 \text{ руб.}$$

Расчет основной заработной платы приведем по данным критериям, указанным в выше указанных расчетах, будут отображены в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	k_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$З_{осн}$, руб.
Научный руководитель	38050	0,3	1,3	64304,5	2707,6	54	146208,1
Инженер	14874,45	0,3	1,3	25137,8	1058,43	73	77265,7
Итого:							223473,8

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

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы (6):

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot Z_{осн}, \quad (6)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30,2%.

Расчет отчислений во внебюджетные фонды приведем в таблице 23

Таблица 23 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	146208,1
Инженер	77265,7
Коэффициент отчислений	0,302
Итого:	67489,1

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы 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. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 24.

Таблица 24 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	30945
Основная заработная плата	223473,8
Отчисления во внебюджетные фонды	67489,1
Бюджет затрат:	321907,9

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления). Бюджет затрат составил 321907,9 рублей.

5.9 Определение ресурсной, 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:

Интегральный финансовый показатель разработки:

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

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

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

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4	2
3. Помехоустойчивость	0,2	3	3
4. Энергосбережение	0,25	5	4
5. Надежность	0,25	4	4
6. Материалоемкость	0,1	5	4
Итого:	1	25	21

$$I_{\text{ТП}} = 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,1 = 4,15$$

$$I_{\text{аналог}} = 4 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,1 = 3,6$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{\text{исп.}i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле (7):

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p\text{-исп.}i}}{I_{\text{финр.}i}} \quad (7)$$

Сравнительная эффективность проекта по формуле (8):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.}1}}{I_{\text{исп.}2}} \quad (8)$$

Таблица 26 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог
	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,15	3,6
	Интегральный показатель эффективности	4,15	3,6
	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,153	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что разрабатываемый способ контроля вибрации роторных агрегатов является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом, основываясь на показателях эффективности.

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1) Потенциальными потребителями результатов исследования являются электростанции. Сегментирование рынка осуществляется по следующему критерию: потребность в результате НТИ.

2) В результате проведения анализа конкурентных технических решений сделан вывод о том, что разрабатываемый метод контроля вибрации

по дисбалансу является наиболее предпочтительным, чем установка дополнительных датчиков вибрации.

3) Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. По итогам выполнения SWOT-анализа выбраны наиболее эффективные стратегии.

4) Оценка степени готовности научной разработки к коммерциализации показала средний уровень, который можно повысить путем более детального исследования коммерческой составляющей проекта.

5) В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников.

6) При планировании бюджета рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и инженера, отчисления во внебюджетные фонды. Бюджет затрат составил 321907,9 рублей.

7) Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

6 Социальная ответственность

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места и условий в которых будет реализовываться разработка экспериментальной установки по моделированию дисбаланса

Установка разрабатывается для обслуживающего персонала электростанций, где используется большое количество оборудования роторного типа.

Рабочим местом для разработки является учебная аудитория, которая находится на ГРЭС-2, рабочей зоной является стол с персональным компьютером.

В данном разделе указаны такие вредные факторы, оказывающие негативное влияние на организм человека, как повышенный уровень электромагнитных излучений, повышенный уровень шума на рабочем месте, умственное перенапряжение, монотонность труда, недостаточная освещённость рабочей зоны, статические физические перегрузки.

А также рассмотрены такие опасный факторы, как электрический ток, короткое замыкание и статическое электричество. Так же указан характер вредного воздействия данных факторов на организм и последствия их длительного или чрезмерного воздействия.

Негативное воздействие на литосферу происходит при утилизации: компьютера и периферийных устройств (принтеры, веб-камеры, наушники, колонки, телефоны); люминесцентных ламп; макулатуры.

Так же были рассмотрены предполагаемые ЧС: пожары, грозы, ураганы, оползни. В данном разделе рассмотрим наиболее вероятное ЧС – пожары, и способы их устранения.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Согласно трудовому кодексу РФ [16] следует, что продолжительность рабочей недели не должна превышать 40 ч при пятидневной неделе. Продолжительность работы за компьютером не должна превышать 6 ч за смену и должны делаться перерывы от 10 до 15 мин через промежутки времени от 45 до 60 мин работы. Перерывы сопровождаются проветриванием и гимнастикой для глаз и тела.

Согласно ТОО Р-45-084 [17] высота рабочей поверхности стола должна регулироваться в пределах от 680 до 800 мм. При отсутствии такой возможности высота рабочей поверхности стола должна быть 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, глубиной на уровне колен не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног не менее 650 мм. Рабочий стул должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сидения.

Рабочее место в учебной аудитории для разработки методики аттестации соответствует заявленным параметрам.

6.2 Производственная безопасность

При разработке установки для моделирования дисбаланса могут возникнуть следующие вредные факторы:

- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень шума на рабочем месте;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда);
- статические физические перегрузки.

При разработке установки для моделирования дисбаланса могут возникнуть следующие опасные факторы:

- электрический ток;
- короткое замыкание;
- статическое электричество.

В таблице 27 приведены опасные и вредные факторы, с которыми может столкнуться студент, при проведении работ.

Таблица 27 – Опасные и вредные факторы, возникающие при разработке документации

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [22]
Повышенный уровень шума на рабочем месте	ГОСТ 12.1.003-83 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» [19] 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» [31]
Недостаточная освещенность рабочей зоны	СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение [18]

Продолжение таблицы 27

Умственные нагрузки; Монотонность работы.	Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство, по гигиенической оценке, факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [32] МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности» [21]
Опасность поражения электрическим током, короткое замыкание; статическое электричество	ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность [25] ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ Пожарная безопасность [29] ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. «Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля» [20]

6.2.1 Анализ вредных факторов

6.2.1.1 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рациональное освещение рабочего места является одним из важнейших условий для обеспечения безопасных и благоприятных условий труда, т.к. оно определяет трудовую эффективность и влияет на самочувствие и восприятие человека. Нерациональное освещение может вызвать утомление организма, зрения, а также травматизм на рабочем месте.

В учебной аудитории применяется совмещенное освещение. Основной источник освещения – шесть потолочных светильников с

зеркальными решетками, в каждом по четыре люминесцентные лампы типа TL-D с мощностью 60 Вт. Светильники имеют квадратную форму со стороной 0,54 м и создают равномерное освещение всей аудитории.

В соответствии с СП 52.13330.2016[18] в помещениях, предназначенных для работы с ПЭВМ, освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения E_n должна быть не менее 300 лк.

Данные для расчета:

- размеры помещения: $A = 3,16$ м; $B = 6,9$ м; $H = 2,9$ м;
- высота рабочей поверхности $h_p = 0,7$ м;
- коэффициент отражения стен $\rho_{ст} = 30$ %;
- коэффициент отражения потолка $\rho_{пот} = 70$ %;
- коэффициент отражения пола $\rho_{пол} = 20$ %;
- коэффициент запаса для помещения с малым выделением пыли $K_3 = 1,5$;
- световой поток одной лампы $\Phi_l = 1150$ лм.

Определяем площадь помещения по формуле (9):

$$S = A \cdot B, \quad (9)$$

где S – площадь учебной аудитории, м²;

A – длина учебной аудитории, м, $A=3,16$ м;

B – ширина учебной аудитории, м, $B= 6,9$ м.

Получаем, что площадь учебной аудитории $S=21,9$ м².

Определяем расчётную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью по формуле (10):

$$h=H- h_p-h_c, \quad (10)$$

где H –высота помещения, $H= 2,9$ м;

h_p –расстояние от пола до рабочей поверхности стола, $h_p=0,8$ м;

h_c –расстояние от потолка до светильника, $h_c=0,1$ м.

Получаем, что $h=2$ м.

Далее определяем индекс помещения i по формуле (11):

$$i = S/H \cdot (A + B), \quad (11)$$

Получаем индекс помещения $i=0,75$.

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений i , p_c и p_n примем $\eta=36\%$.

Рассчитаем световой поток, создаваемый каждой из ламп, по формуле (12):

$$\Phi = E \cdot S \cdot z \cdot k/n \cdot \eta, \quad (12)$$

где Φ – световой поток одной лампы, $\Phi=1150$ лк;

E – минимальная освещенность, лк, $E = 200$ лк;

S – площадь помещения.м², $S= 21,9$ м²;

z – поправочный коэффициент, $z = 1,1$;

k – коэффициент запаса, $k=1,5$;

η – коэффициент использования осветителей, $\eta = 36 \%$;

n – число светильников в помещении.

Из формулы (12) выразим число светильников в помещении и получим формулу (13):

$$n = E \cdot S \cdot z \cdot k/\Phi \cdot \eta \quad (13)$$

Подставив нужные значения в формулу, получаем $n=18$.

18 светильников будет достаточно для обеспечения минимальной требуемой освещенности в соответствии с требованиями СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95 в учебной аудитории.

Для расчета электрической мощности установки воспользуемся формулой (14):

$$P = n \times n^* \times w, \quad (14)$$

где n – количество светильников = 18;

n^* – количество ламп в одном светильнике = 4

w = мощность одной лампы = 60 Вт.

Подставив нужные значения в формулу, получаем $P = 4320$ Вт.

6.2.1.2 Повышенный уровень шума на рабочем месте

Повышенный уровень шума на рабочем негативно сказывается на человеке: снижается внимания, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, происходит замедление скорости реакций и т.д. Как результат, производительность труда падает и снижается качество выполняемой работы.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83[19] в учебной аудитории, предназначенной для работы с ПЭВМ и для теоретических работ, предельно допустимый уровень звука не должен превышать 50 дБ.

Основные источники шума в аудитории – компьютер и люминесцентные лампы.

Инженер по охране труда АО «Томская Генерация» провел измерения уровня шума в учебной аудитории. Измерения проводились цифровым шумомером Testo 816. Уровень шума не превысил предельно допустимого значения.

6.2.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

В качестве источника электромагнитного излучения в данной работе рассматривается персональный компьютер.

Степень и характер воздействия электромагнитного поля на организм человека зависят: от интенсивности излучения; частоты колебаний; поверхности тела, облучаемого; индивидуальных особенностей организма; режима облучения (непрерывный или прерывистый) продолжительности воздействия; комбинированного действия других факторов производственной среды.

Ввиду того, что используется жидкокристаллический монитор, то контроль мягкого рентгеновского излучения не осуществляется. Допустимые значения излучения показаны в таблице 4 с учётом ГОСТ 12.1.006-84 [20].

Таблица 26 – Временно допустимые уровни (ВДУ) электромагнитного поля при работе с компьютером

Наименование параметров		ВДУ
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот от 2 до 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот от 2 до 400 кГц	25 нТл
Напряженность электростатического поля		15 кВ/м

Для обеспечения нормальной деятельности пользователя с учетом норм предельно допустимой напряженности ЭМП экран монитора должен находиться на расстоянии от 0,6 до 0,7 м, но не ближе, чем 0,5 м от глаз. Также должна быть учтена схема размещения рабочих мест с компьютерами: расстояние между рабочими местами – 2 м, между боковыми поверхностями мониторов – не менее 1,2 м. Компьютер, на котором проводилось выполнение исследования, оснащен LCD монитором, напряженность ЭМП которого менее 2,5 В/м, что соответствует норме.

6.2.1.4 Нервно–психические перегрузки

Нервно–психические перегрузки это в первую очередь монотонность работ и умственное перенапряжение.

Разработка методики аттестации испытательного оборудования — это долгая монотонная работа за компьютером. Такая работа приводит к общей усталости, снижению концентрации внимания и снижает работоспособность.

Для того чтобы данный вид вредного фактора не повлиял на работу, необходимо делать перерывы, зарядку для глаз, смену деятельности.

Умственное перенапряжение связано с большим объемом информации, которая необходима для разработки методики аттестации. Умственное перенапряжение приводит к головным болям, общей усталости.

Для того чтобы данный вид вредного фактора не повлиял на работу, необходимо распределить время между работой с информацией и выполнением других работ [21].

6.2.1.5 Статические физические перегрузки

Статические физические перегрузки вызываются длительным пребыванием человека в вынужденной рабочей позе или длительным статическим напряжением отдельных групп мышц при выполнении работ.

При разработке методики аттестации возникают статические физические перегрузки, оказывающие влияние на следующие группы мышц:

- сидя за компьютером – шейный и плечевой пояс;
- сидя с наклоненным туловищем – пояснично–крестцовый отдел;
- с упором на локоть (давление на локтевой сустав);
- кистевой обхват (давление на ладонную поверхность кисти).

Физические перегрузки способствуют возникновению производственно обусловленной заболеваемости, которая выражается в виде заболеваний различных систем организма – сердечно–сосудистой (миокардиодистрофия) и дыхательной (эмфизема легких), желудочно–кишечного тракта и других.

Главными мероприятиями по снижению физических перегрузок являются ликвидация ручных операций, уменьшение темпа работы, борьба с другими производственными факторами, а также лечебно–профилактические мероприятия (предварительные перед поступлением на работу и периодические медицинские осмотры) [23].

6.2.2 Анализ опасных факторов

6.2.2.1 Электрический ток

В соответствии с ГОСТ 12.1.030–81[24] и ГОСТ 12.1.038–82[25] учебная аудитория является помещением без повышенной опасности, т.е. отсутствуют какие–либо условия, создающие опасность: оно сухое, хорошо отапливаемое, полы токонепроводящие, температура и влажность соответствуют нормам. В аудитории отсутствуют электроустановки, за исключением компьютера.

Деятельность непосредственно связана с ПЭВМ, токоведущие части изолированы, т.е. случайное прикосновение к токоведущим частям исключено.

Для обеспечения защиты от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции, рекомендуется применять защитное заземление.

Заземление корпуса ПЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно «ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7» для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Основное мероприятие по электробезопасности – инструктаж и обучение безопасным методам труда, а также проверка знаний правил безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно в выполняемой работе.

6.2.2.2 Короткое замыкание

Короткое замыкание – электрическое соединение разных фаз или потенциалов электроустановки между собой или с землей, не

предусмотренное в нормальном режиме работы, при котором в проводниках, в месте контакта, резко возрастает сила тока, превышая максимально допустимые величины, что представляет большую опасность для электрического оборудования и может вызвать перебои в электроснабжении потребителей. Короткое замыкание может привести к пожару.

Основной и важной причиной возникновения коротких замыканий является нарушения изоляции электрооборудования. Нарушения изоляции могут вызываться: перенапряжениями, прямыми ударами молнии, старением изоляции, механическими повреждениями изоляции и неудовлетворительным уходом за оборудованием.

Мероприятия для предотвращения возникновения короткого замыкания – это своевременное техническое обслуживание, правильная эксплуатации, в соответствии с документацией на оборудование и ограниченное время работы [26].

6.2.2.3 Статическое электричество

Основными причинами, влекущими за собой возникновение статического электричества, являются:

- отдаление или контакт двух материалов;
- быстрые температурные перепады;
- УФ–излучение, радиация, сильные электрические поля;
- операции, производимые путем нарезания (раскроечные станки или бумагорезальные машины);
- наведение, то есть возникновение электрического поля, вызванного статическим зарядом.

Главная опасность заключается в неконтролируемом ударе током.

Мероприятия для устранения возможности возникновения статического электричества:

- следить за температурными показателями в помещении;

- постоянно проветривать помещение;
- проводить влажную уборку;
- снизить электростатическое напряжение, уменьшив скорость работы, используя специальные материалы и заземление [27].

6.3 Экологическая безопасность

Деятельность по разработке методики аттестации связана с работой ПЭВМ. Согласно ГОСТ 17.4.3.04-85[28] неправильная утилизация компьютерной техники может негативно повлиять на окружающую среду (литосферу) – при распаде на тяжелые металлы и ядовитые соединения.

В учебной аудитории АО «Томская Генерация» все отходы, которые образуются в ходе работы, утилизируются специализированным персоналом. Компьютерная техника, при обнаружении неисправности, а также люминесцентные лампы, списываются и утилизируются специализированными организациями.

Утилизация ПК осуществляется следующим образом:

- заполняется технический акт на списание с указанием причины списание и обоснования невозможности дальнейшей эксплуатации.
- передача данного акта с подписью ответственных лиц в бухгалтерию, для списания с баланса предприятия;
- демонтаж устройств с последующей сортировкой деталей и передача их в соответствующие организации.

К отходам, производимым в помещении можно отнести бумажные отходы, то есть макулатуру. Бумажные отходы в компании накапливаются в специальном контейнере, который располагается в общей доступности, и передаются в пункты приема макулатуры для дальнейшей переработки. Дополнительным методом снижения отходов является увеличение доли электронного документооборота.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайными ситуациями в подобных помещениях могут быть пожары, грозы, ураганы, оползни.

Рассмотрим наиболее возможную ЧС при разработке методики аттестации – пожар. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 [29] и ГОСТ 12.1.010 [30]

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- электрические перегрузки;
- выделение тепла, искрение в местах плохих контактов при соединении проводов;
- курение в неположенных местах.

Для предотвращения возникновения пожара в учебной аудитории осуществляется ряд действий:

- помещение содержится в чистоте. По окончании работы проводится влажная уборка всех помещений;
- работа должна проводиться только при исправном электрооборудовании;
- на видном месте вывешен план эвакуации из помещения с указанием оборудования, которое нужно эвакуировать в первую очередь;
- уходящий из помещения последним, проверяет, выключены ли нагревательные приборы, электроприборы и т. д. и отключение силовой и осветительной электрической сети;
- в аудитории имеются средства тушения пожара (огнетушители).

На рисунке 44 представлен план эвакуации людей при пожаре и других ЧС 3 этажа АО «Томская Генерация» СП ГРЭС-2

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы была разработана автоматизированная система контроля вибрации роторных агрегатов на основе асинхронного электродвигателя.

Для выполнения данной ВКР были изучены общие вопросы возникновения вибрации на различных предприятиях, так же рассмотрены способы её устранения. Проведен обзор литературы по таким понятиям как: дисбаланс, расцентровка, резонанс.

В разделе по моделированию дисбаланса сняты характеристики по вибрации на установке из асинхронного двигателя и редуктора, в нормальном состоянии вибрация не превышала установочного значения для оборудования данного типа 4,5 мм/с согласно ГОСТ 16-921-83.

Так же была собрана автоматизированная система для контроля параметров вибрации на основе асинхронного электродвигателя

Испытания по вибрационной диагностике в условиях жесткой эксплуатации оборудования роторного типа является неотъемлемой части правильной эксплуатации. Датчики вибрации и программное обеспечение предоставляют ключевую информацию о состоянии оборудования данного типа. Недостающим звеном здесь может быть способность правильно интерпретировать данные и четко диагностировать проблему, отследить неисправность в ключевой момент.

Моделирование дисбаланса дает четкую картину изменения и роста вибрации при вхождении в данном примере электродвигателя в такой режим.

Список использованных источников

1. Коллакот Р.А., «Диагностирование механического оборудования» – М.: Судостроение, 1980 – 296 с.
2. Ширман А.М., Соловьев А.А. «Практическая вибродиагностика (учебный курс) и мониторинг состояния механического оборудования».
3. Гольдин А.С., «Вибрация роторных машин», 2000 – 344 с.
4. Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г., Хомяков Е.И., «Вибродиагностические методы». – М.: Машиностроение, 1986 – 192 с.
5. Зусман Г.В., Барков А.В. «Вибродиагностика», учебное пособие 2011 г. – 215 с.
6. Баркова Н.А., Борисов А.А., «Вибрационная диагностика машин и оборудования», учебное пособие, 2011 г. – 517 с.
7. Барков А.В., Баркова Н.А., Азовцев А.Ю., «Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации», учебное пособие, 2000 г. – 562 с.
8. Алексеев С.П. "Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении" 1970 г. – 430 с.
9. Алексеев А.П. "Монтаж и эксплуатация электроустановок" 2006 г. – 234 с.
10. Гольдин А.С. "Вибрация роторных машин" 2000 г. – 325 с.
11. ГОСТ 19534-74. Балансировка вращающихся тел. Термины.
12. ГОСТ 20076-89. Станки балансировочные. Нормы точности
13. ГОСТ 22061-76. Система классов точности балансировки. Основные положения.
14. ГОСТ ИСО 1940-1-2007 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 1. Определение допустимого дисбаланса.
15. ГОСТ ИСО 1940-2-99 Вибрация. Требования к качеству балансировки жестких роторов. Часть 2. Учёт погрешностей оценки остаточного дисбаланса.

16. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)

17. ТОИ Р-45-084-01 Типовая инструкция по охране труда при работе на персональном компьютере. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

18. СП 52.13330.2016 Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

19. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности

20. ГОСТ 12.1.006-84 Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

21. МР 2.2.9.2311 – 07 «Профилактика стрессового состояния работников при различных видах профессиональной деятельности»

22. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

23. МР2.2.9.2128-06 Комплексная профилактика развития перенапряжения и профессиональных заболеваний спины у работников физического труда

24. ГОСТ 12.1.030-81 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. [Электронный

ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

25. ГОСТ 12.1.038–82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

26. ГОСТ 26522–85 Короткие замыкания в электроустановках. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

27. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.

28. ГОСТ 17.4.3.04–85 Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

29. ГОСТ 12.1.004–91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

30. ГОСТ 12.1.010 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: справочная система «Техэксперт: 6 поколение», свободный – Загл. с экрана.

31. 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»

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

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(Справочное)

Automated vibration control system for rotary units

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ГМ01	Афанасьев Максим Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Худоногова Л.И.	к.т.н.		

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ ШБИП	Маркова Н.А.	-		

1 Literature review

1.1 Vibration diagnostics systems

Vibration diagnostics is one of the methods of equipment diagnostics, which is based on the analysis of vibration parameters that are created during the operation of the equipment, or it is secondary vibration.

Vibradiagnostics can solve such tasks as: identifying the causes of high vibration of equipment and aggregates, as well as detecting hidden defects.

This method serves as one of the main control methods of the technical condition of the equipment.

Vibration diagnostics is carried out by means of special equipment, devices that allow you to accurately determine the degree and nature of vibration, as well as to find out the causes of its occurrence.

1.2 Diagnostics by the general vibration level

This method of displaying defects in equipment and assembly units is included in the simplest assessment of the technical condition by highlighting the overall level of the vibration signal. This method is carried out by personnel servicing various equipment even without special vibration diagnostic training. To diagnose equipment defects, it is only necessary to use vibrometers of the simplest designs. The disadvantage of such methods is that the defect can already be determined by this method at its last stage, that is, pre-emergency diagnosis.

1.3 Diagnostics by vibration signal spectra

Such diagnostics allows you to identify a huge number of defects and malfunctions of the main equipment. In most cases, diagnostics of vibration signal spectra can determine equipment defects from about the median of the second stage of their

development, when the level of resonant vibrations is significant in the full picture of the frequency distribution of the vibration signal power. The implementation of such a method will be the availability of high-quality spectroanalysts and trained personnel. When an electrical signal is passed after the vibration converter through the spectroanalyzer and with a given bandwidth at the output, we obtain an amplitude spectrum. A large number of regulatory documents and standards on vibration as a normalized vibration parameter for monitoring the condition of equipment, the rms value (SCR) of vibration velocity is set in the frequency range from 10 to 1000 Hz, however, only a single vibration velocity parameter greatly narrows the frequency range for assessing the condition.

1.4 Diagnostics of equipment condition by peak/factor ratio

The peak/factor ratio diagnostic method has several modifications that are practically similar in effectiveness:

- pulse energy measurement;
- measurement of shock pulses;
- RF signal detection.

Different methods make it possible to detect equipment defects at very early stages, that is, from the end of the first stage of development. To implement such a method, simple and cheap devices are enough.

Peak/factor is one of the convenient and quickly calculated parameters that will allow maintenance personnel to determine the number of shock vibration signals in the time signal. Such information is quite useful, moreover, that it is not always possible to obtain sufficient information on the signal spectra.

There are no visible differences in the signal spectrum between "white noise" and impacts. The impact in the time signal can be caused by the wear of the rolling bearing element, the wear of the teeth.

The peak/factor is very often used in monitoring to monitor the decrease or entrainment of the number of strokes. Peak/factor is the ratio of the upper value.

1.5 Units of measurement and vibration parameters

The vibration signal can be depicted by using certain mathematical calculations, transformed into certain interrelated representations, such as: vibration velocity, vibration displacement, vibration acceleration. All these ideas are informative in their own way to about the same extent. Moving from one to the other is carried out by mutually inverse differentiation and integration procedures, as is known from vibration sensors at the output an electrical signal proportional to vibration acceleration.

For a more correct description of the vibration signal, the terms vibration mixing and vibration speed are used. Vibration displacement (microns) is determined by the maximum boundaries of the point movement and is characterized by a double amplitude, showing movement from the extreme position to the opposite of the other.

The vibration velocity (mm/sec) is determined by the maximum speed of movement of a point during its precession. Usually the SCR is measured rather than the maximum value.

Methods of attaching vibration sensors:

- fastening on a hairpin;
- mounting on a hand probe;
- mounting on a magnet.

Each of the ways of attaching vibration sensors has its own number of advantages and disadvantages. Figure 1 shows the frequency response of one of the types of piezoelectric general purpose vibration sensor, which is fixed according to the first method on a stud, the surface of the sensor installation is smooth. In this case, the resonant frequency of the sensor coincides with the resonant frequency during calibration of the manufacturer.

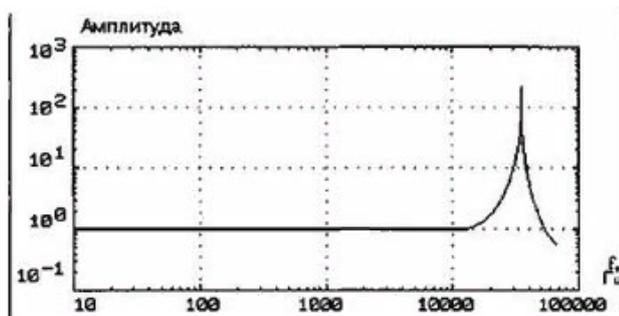


Figure 1 – Frequency response of the sensor on the stud

This mounting of the sensor causes inconvenience during its installation, time spent on installation and the need for locksmith work. One of the simplest and fastest ways to mount vibration sensors is to mount using a probe that is connected directly to the sensor.

Figure 2 shows the frequency response of a vibration sensor mounted on a probe.

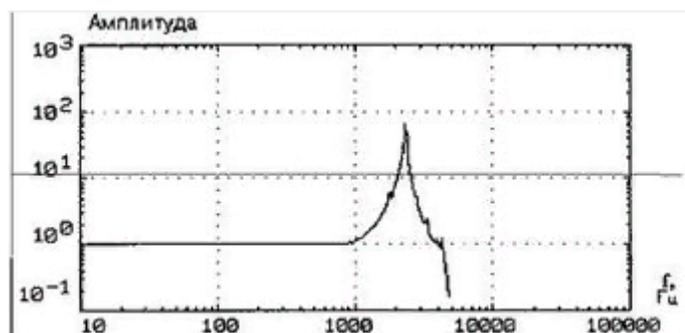


Figure 2 – Frequency response of the sensor on the probe

The angle between the measurement direction and the sensor axis should not exceed 25 degrees. When using dipsticks of different types, the frequency range may change.

One of the widest applications and ease of mounting on a magnet is also on a smooth surface. At the same time, the measuring range is affected by the strength of the magnet's adhesion to the measuring surface. The frequency response of this mounting method is shown in Figure 3.

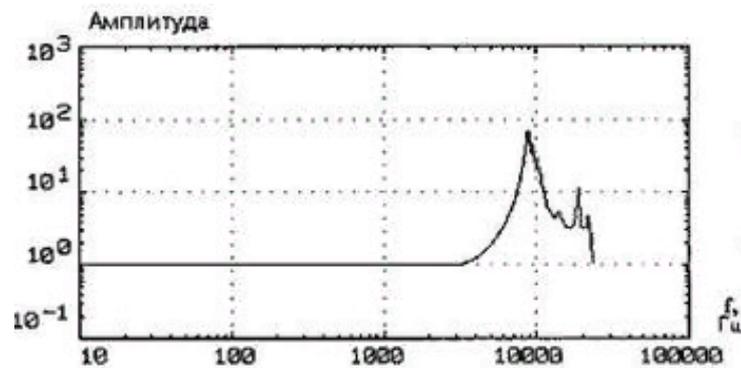


Figure 3 – Frequency response of the sensor on a magnet

The resonant frequency in this type of attachment is reduced to 1 ... 15 kHz, it also depends on the type of magnet.

1.6 Vibration measuring instruments

Classification of vibration measuring instruments

Portable devices:

- vibrometers – indicating devices that determine vibration by the general level, that is, by the SCR, do not have an interface and memory.

- vibration collectors are the same kind of vibrometers, vibration measurement is performed according to the general level, they have memory and the ability to transmit data.

- vibration analyzers are multifunctional devices with the ability to determine amplitude–frequency spectra, have data collection, diagnostics, balancing of rotors.

Stationary systems are measuring complexes that include a large number of functions. Selection of the sensor installation location Vibration measurements should be made in the same places, which will later be called control points.

Vibration measurements should be made in the same places, which will later be called control points.

Measurements of the vibration parameter at certain control points are made on the bearing supports of the equipment, on the body of the unit. Absolute

vibration measurements must be carried out in three mutually perpendicular planes: horizontal, vertical and transverse directions.

For the correct measurement of vibration in three planes, special platforms are used. One of these platforms is the "installation cube", which is shown in Figure 4.



Figure 4 – Installation cube

The installation cube is made of high-strength steel ST3. Made according to GOST 380-94. At the borders of the cube, special holes with M4 thread are provided, to which it is possible to fix the vibration sensor.

The holes for the vibration sensors are optimally selected in all directions (vertical, peppered, axial) for the output of the connecting cable. These types of installation cubes have gained wide popularity when measuring the vibration of one of the types of rotary aggregates pore turbines. The view of which is shown in Figure 5 and Figure 6.



Figure 5 – Steam turbine type PT-65-90/13



Figure 6 – Turbine rotor

Steam turbine type PT-65-90/13 - condensing with steam selections and the possibility of their regulation, production and heating. The nominal power of the turbine is 60 MW.

A steam turbine is a single-shaft two-cylinder rotary unit consisting of a high-pressure cylinder (HPC) and a low-pressure cylinder (LPC). The pressure of such a turbine is regulated by a rotary diaphragm.

Vibration converters of the MV-43 type are installed on a turbine of this type, designed to convert mechanical vibrations of rotary units into an electrical signal of 0-5 mA or 4-20 mA, proportional to vibration acceleration. The MV-43 vibration converter is shown in Figure 7.



Figure 7 – Vibration converter MV-43

The principle of operation of this vibration converter is based on the piezoelectric effect. The MV-43 sensor is rigidly fixed to the installation cube in one of the planes (vertical, transverse axial) on the M4 bolts. The MV-43 vibration converter has holes for such fasteners.

When the unit on which the sensor is mounted vibrates, the inertia force of the object acts as a piezoelectric element that generates an electrical signal (0-5 mA, 4-20 mA) proportional to the amplitude of vibration acceleration. The MV-43 vibration converter is supplied with a cable in a metal sleeve which is made of an anti-vibration two-wire shielded cable.

Figure 8 shows the layout of the MV-43 sensors on a PT-65-90/13 turbine.

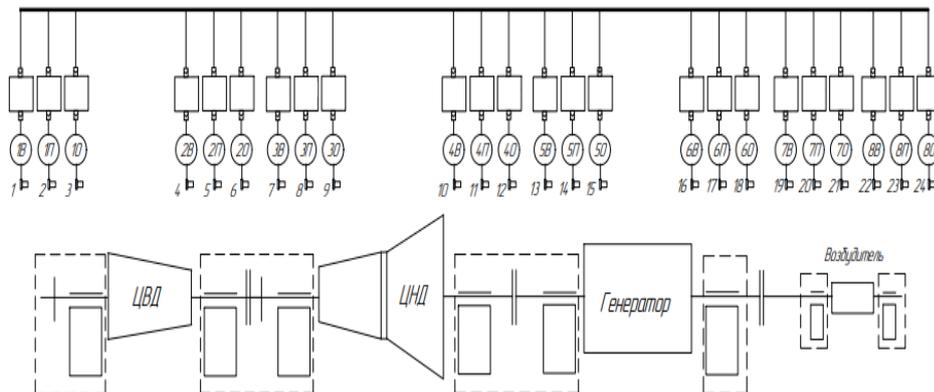


Figure 8 – Sensor layout

There are 3 MV-43 vibration sensors located on each of the turbogenerator bearings in three planes (vertical, transverse, axial) the sensors are also installed on the generator exciter. To install sensors of this type, the "installation cube" given earlier is used.

1.7 Analysis of existing vibration control systems

Two of the largest companies, such as LLC "Diameh 2000" and NPP "Vibrobit", are engaged in the development of vibration control systems for rotary units in Russia. Each company puts on the market a full range of vibration status and display and protection against it. The company LLC "Diameh" produces a complex called ALMAZ 7010, and NPP "Vibrobit" Vibrobit 300.

This is the main disadvantage of the system from the NPP Vibrobit company. Figure 9 shows the general scheme of operation of both systems, channels, transmission links.

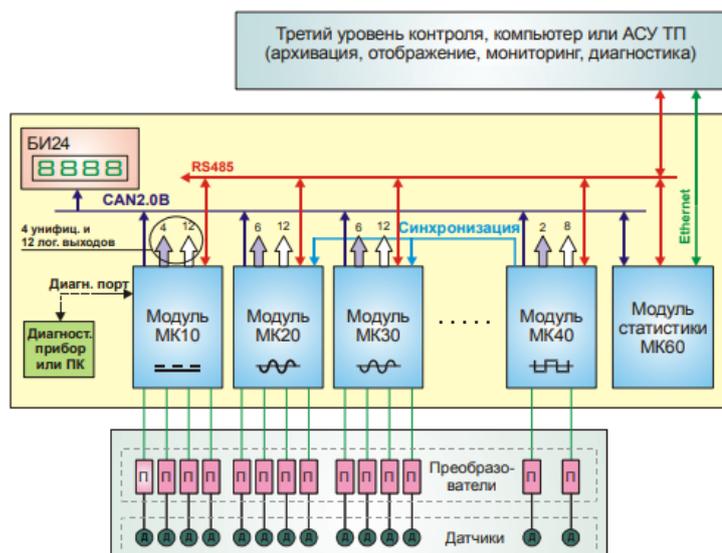


Figure 9 – Operation diagram of vibration control systems

Both systems use the same field level (vibration sensors, transducers).

Both systems essentially perform the same functions, these are vibration indication and warning, recording and storing information in the archive. The DIAMOND 7010 has a more practical and user-friendly interface than the Vibrobit 300. The display of vibration measurements in ALMAZ 7010 is displayed on its own monitor, and in Vibrobit 300 transmits signals via the "4-20 mA" lines of the existing automated control system equipment, respectively, the generation of protection signals (accidents and warnings) is carried out by another system.