

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

Институт Кибернетики
Направление подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
Кафедра «Технологии машиностроения и промышленной робототехники»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния динамических режимов нагружения на вибрационные характеристики узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия УДК <u>621.891-868; 531.224.001.5</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Щербанский Александр Петрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТМСПР	Буханченко С.Е.	Канд. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Спицын В.В.	Канд. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Пустовойтова М.И.	Канд. хим. наук		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТМСПР	Вильнин А.Д.			

Томск – 2017 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные знания для создания <i>нового</i> технологического оборудования и его эксплуатации.	Требования ФГОС ВО (ПК-19, 20) ¹ , Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Применять <i>глубокие</i> знания в области современных методов проектирования и технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1, ОК-8), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием технологических машин и их эксплуатацией, с использованием производственных испытаний, системного анализа, моделирования объектов и процессов машиностроения	Требования ФГОС ВО (ПК-16, ОК-2, 3), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	<i>Разрабатывать и проектировать</i> новое оборудование и технологические машины и использовать <i>новое</i> оборудование, и инструменты для производства изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5, 23, 26), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> при создании современных высокоэффективных машин, технологий производства изделий, материалов, нано технологий.	Требования ФГОС ВО (ПК-21, 24, ОК-4, 6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ПК-1, 2, 4, 14, 15, 25), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Универсальные компетенции		
P7	Использовать <i>глубокие</i> знания по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты	Требования ФГОС ВО (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных

¹Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств)

	интеллектуальной собственности	стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС ВО (ПК-7, ОК-9), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС ВО (ПК-6, 17, 18, ОК-10), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3.), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС ВО (ПК-22, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1, 5), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

¹Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 15.04.05 – Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств)



Институт *Кибернетики*
 Направление подготовки *15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»*
 Кафедра *«Автоматизация и роботизация в машиностроении»*

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой
 _____ С.Е. Буханченко

**ЗАДАНИЕ
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
8НМ51	Щербанский Александр Петрович

Тема работы:

Исследование влияния динамических режимов нагружения на вибрационные характеристики узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия	
Утверждена приказом директора	№ 2753/с от 21.04.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10.06.2017
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ol style="list-style-type: none"> 1. Узел скоростного динамического нагружения трибосопряжений. 2. Нагружение трибосопряжения скоростное. 3. Тип привода скоростного нагружения трибосопряжений: постоянного тока. 4. Типы скоростного нагружения трибосопряжений: вращательный или возвратно-вращательный. 5. Режим работы – циклический переменный или знакопеременный по произвольному закону во времени. 6. Режимы трения: жидкостное, граничное, сухое.
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка технического задания на выполнение научно-исследовательской работы 2. Аналитический обзор методов и аппаратно-программного обеспечения исследования и анализа виброакустических сигналов. 3. Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования (КИО) для исследования и анализа виброакустических сигналов. 4. Построение математической модели формирования сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе. 5. Разработка программного обеспечения для моделирования и анализа виброакустических сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе. 6. Определение способа крепления и мест установки первичных преобразователей. 7. Исследование виброакустических сигналов при испытаниях трибосопряжения на различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе.
<p>Перечень графического материала</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Расчетно-пояснительная записка <i>формат А4</i>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры менеджмента Спицын В.В., канд. экон. наук
Социальная ответственность	Доцент кафедры ЭБЖ Пустовойтова М.И., канд. хим. наук

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение

Обзор литературы

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.10.2015
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень,	Подпись	Дата
Зав. кафедрой	Буханченко С.Е.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Щербанский Александр Петрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 124 с., 63 рис., 24 табл., 20 источников, 1 прил.

Ключевые слова: триботехника, вибродиагностика, нагружение, трибосопряжения, исследование вибрационных характеристик.

Объектом исследования являются вибрационные характеристики узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия.

Цель работы – определение влияния вибрационной составляющей на точность воспроизведения динамических законов нагружения и триботехнические характеристики узла трения при его испытании на автоматизированном триботехническом комплексе.

В процессе исследования проводились: аналитический обзор существующих методов и аппаратно-программное обеспечение для исследования и анализа виброакустических сигналов, построение математической модели узла скоростного динамического нагружения, разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования, разработка программного обеспечения, определение способов крепления и мест установки первичных вибропреобразователей, а также анализ виброакустических сигналов.

В результате исследования разработаны комплекс контрольно-измерительного оборудования и его программное обеспечение, а также произведен анализ влияния динамических законов нагружения на вибрационные характеристики узла трения вращательного и возвратно-вращательного действия.

Область применения: трибология (косвенная оценка показателей трения).

Экономическая эффективность/значимость работы: полная интеграция комплекса контрольно-измерительного оборудования с автоматизированным

триботехническим комплексом исключает необходимость использования стороннего вибродиагностического оборудования.

В будущем, на основании разработанного комплекса контрольно-измерительного оборудования и его программного обеспечения, планируется создание специализированного контроллера, отвечающего за проведение вибродиагностики и отличающегося от прототипа значительно меньшей себестоимостью.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения.

Обозначения:

$M_{кр}$ – крутящий момент, создаваемый двигателем, **Н·м**;

$M_{тр}$ – момент трения, **Н·м**;

F – сила, **Н**;

ω – угловая скорость, **рад/с**;

φ – угол поворота, **град**;

α – коэффициент трения;

c – коэффициент упругости, **Н/м**;

m – масса исполнительного органа, **кг**;

R – радиус исполнительного органа, **м**;

E – модуль Юнга, **Па**;

S – площадь поперечного сечения стержня, **м²**;

L – длина стержня, **м**;

J_p – полярный момент инерции, **кг·м²**;

Не указанные величины пояснены в тексте.

Сокращения:

ККИО – комплекс контрольно-измерительного оборудования;

УСДН – узел скоростного динамического нагружения;

ИО – исполнительный орган;

ЭД – электродвигатель;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

Оглавление

Введение.....	11
Обзор литературы.....	13
Объект и методы исследования.....	21
1 Расчеты и аналитика.....	22
1.1 Построение математической модели.....	22
1.1.1 Принципиальная схема.....	22
1.1.2 Расчетная схема.....	24
1.1.3 Структурная схема.....	24
1.1.3.1 Определение параметров.....	25
1.1.3.2 Динамическая модель.....	26
1.2 Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования.....	31
1.3 Разработка программного обеспечения.....	34
1.4 Определение способа крепления и мест установки первичных вибропреобразователей.....	36
1.5 Исследование виброакустических сигналов.....	50
1.5.1 Статический режим нагружения.....	50
1.5.2 Динамический режим нагружения.....	54
Результаты проведенного исследования.....	66
2 Раздел финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	67
Введение.....	67
2.1 Иерархическая структура работ проекта.....	67
2.2 Контрольные события проекта.....	68
2.3 План проекта.....	70
2.4 Бюджет проекта.....	73
2.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты.....	74
2.4.2 Специальное оборудование для научных работ.....	75
2.4.3 Основная заработная плата.....	75
2.4.4 Дополнительная заработная плата.....	77
2.4.5 Отчисления на социальные нужды.....	78

2.4.6	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями.....	78
2.4.7	Накладные расходы	79
3	Социальная ответственность	80
	Введение	80
3.1	Производственная безопасность.....	81
3.1.1	Показатели микроклимата	82
3.1.2	Шум на рабочем месте.....	83
3.1.3	Электромагнитные излучения	85
3.1.4	Освещенность рабочей зоны.....	86
3.1.5	Вредные вещества.....	94
3.1.6	Электробезопасность	95
3.1.7	Пожарная безопасность	97
3.2	Экологическая безопасность	101
3.2.1	Защита атмосферы	101
3.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	102
3.3.1	Природный пожар.....	103
3.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	104
3.4.1	Организация рабочего места в компьютерном классе.....	104
3.4.2	Требования техники безопасности при работе на токарном станке	105
	Выводы.....	107
	Список публикаций студента	108
	Список использованных источников.....	109
	Приложения.....	111
	Приложение А	112
	Introduction	113
	Literature review	115

Введение

Вибрация, как производственный фактор, встречается во многих отраслях экономики, например, таких как машиностроительная, авиастроительная и судостроительная промышленности. Совершенствование технико-экономических характеристик механизмов и оборудования, как правило, сопряжено с повышением мощности и скорости режимов работы с одновременным уменьшением массы этих механизмов, что неизбежно ведет к возрастанию вибрационных показателей, и необходимости проведения вибродиагностических исследований.

Вибрационные параметры в силу особенности своего происхождения всегда определяются исключительно на работающем механизме, а используемые для этих целей первичные вибропреобразователи (вибродатчики) всегда устанавливаются на наружную поверхность исследуемого механизма, обеспечивая тем самым возможность проведения диагностической работы, без необходимости остановки или нарушения целостности исследуемого оборудования. Кроме этого, одним из достоинств проведения виброизмерений является малое время их реализации, составляющая, как правило, несколько минут, а порой и несколько секунд.

Сигналы, поступающие с первичных вибропреобразователей (вибродатчиков), несут в себе огромное количество информации о состоянии диагностируемого механизма: кинематических узлов и деталей, систем крепления и амортизации, состоянии фундаментов, качестве монтажа механизма и т.д. Кроме того, в настоящее время, теория и практика обработки вибросигналов столь обширны и разнообразны, что, используя соответствующий алгоритм обработки, можно извлечь из всей совокупности данных, содержащихся в вибросигнале, достоверную информацию, без искажений и потерь, практически по любому интересующему параметру.

Подавляющее большинство вибрационных параметров, характеризующих техническое состояние механизма, изменяют свои значения в очень широком диапазоне величин. Например, вибрационная составляющая, обусловленная наличием в механизме подшипника качения, изменяет свои значения на протяжении всего времени эксплуатации механизма в сотни, а порой и в тысячи раз. В этом случае, большую роль в отслеживании изменения состояния механизма, на этапе зарождения дефектов, играет высокая чувствительность используемых вибропреобразователей, обеспечивающая высокую степень достоверности при прогнозировании сроков технического обслуживания механизма.

На сегодняшний день существует множество различных модулей и комплектующих, обеспечивающих возможность создания вибродиагностического оборудования, отвечающего требованиям, установленным условиями его эксплуатации.

В рамках написания выпускной квалификационной работы будет разработан комплекс контрольно-измерительного оборудования и программное обеспечение к нему, предназначенные для исследования и анализа виброакустических сигналов, в целях обеспечения возможности слежения за состоянием машин (узлов) трения без необходимости установления триботехнических параметров.

Обзор литературы

Работа автоматических и автоматизированных технических систем, и устройств, как правило, начинается с процесса измерения каких-либо параметров, характеризующих состояние машины или технологического процесса.

Основной функцией датчиков, обеспечивающих процесс измерения, является преобразование какой-либо физической величины (входной) в другую (выходную), наиболее удобную для считывания информации исполнительным механизмом.

Процесс выбора датчика обуславливается условиями его применения, так в виброизмерительных системах (системах контроля вибраций) используются следующие виды датчиков: датчики виброперемещения, датчики виброскорости и датчики виброускорения. Первый вид датчиков характеризует положение контролируемого объекта, второй вид датчиков характеризует изменение скорости объекта, а третий – изменение ускорения. Эти три параметра, характеризующие вибрацию, являются взаимосвязанными. Например, контролируя виброускорение, путем однократного или двукратного интегрирования, можно легко вычислить остальные два параметра.

Наличие трех видов датчиков обусловлено различными частотными характеристиками контролируемых объектов. В низкочастотной области хорошо зарекомендовали себя датчики виброперемещения, для средних частот, как правило, применяются датчики виброскорости, а для высоких – датчики виброускорения.

Физический смысл взаимосвязанности величин можно трактовать следующим образом: виброперемещение характеризует величину деформации объекта, виброскорость отражает степень усталостной прочности, а по величине виброускорения можно судить о колебательных силах, действующих на объект.

Помимо различий датчиков по измеряемому параметру, описанному выше (виброперемещение, виброскорость и виброускорение), их также разделяют:

- По принципу преобразования механических колебаний в электрических сигнал:
 - Оптические датчики;
 - Индукционные датчики;
 - Пьезоэлектрические датчики;
 - Емкостные датчики;
 - Трансформаторные датчики.
- По количеству измеряемых направлений вибрации:
 - Однокомпонентные (измеряющие вибрацию по одной оси);
 - Двухкомпонентные (измеряющие вибрацию по двум осям);
 - Трехкомпонентные (измеряющие вибрацию по трем осям).

Оптический датчик - небольшое по размерам электронное устройство, способное под воздействием электромагнитного излучения в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазонах подавать единичный сигнал или их совокупность на вход регистрирующей или управляющей системы.

Индукционный датчик представляет собой дифференциальный дроссель с симметрично расположенными друг относительно друга обмотками индуктивности. Принцип работы данного датчика заключается в преобразовании величин индуктивности в электрический сигнал и представляет собой следующий процесс: объект из ферромагнитного материала, попадая в окрестности датчика, претерпевает изменение своего магнитного поля, приводя при этом к изменению индуктивности катушки.

Пьезоэлектрический датчик – это устройства, использующие пьезоэлектрический эффект в кристаллах, керамике или плёнках и преобразующие механическую энергию в электрическую и наоборот.

Емкостной датчик – преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления.

Трансформаторный датчик – измерительный трансформатор механических величин, в модификацию коэффициента преобразования трансформатора, а также в коэффициент взаимной индукции относительно первичной и вторичной обмотки.

Таблица 1 – Достоинства и недостатки датчиков перемещения

Вид датчика	Достоинства	Недостатки
Оптический	<ul style="list-style-type: none"> • Большое расстояние срабатывания до (20 м); • Низкая стоимость; • Компактная и дешевая конструкция; • Простота установки; • Нечувствительны к паразитным магнитным полям и электростатическим помехам. 	<ul style="list-style-type: none"> • Высокие требования к поверхности объекта обнаружения; • Низкая помехозащищенность от посторонних засветок; • Низкая точность определения поперечного положения объекта.
Индукционный	<ul style="list-style-type: none"> • Бесконтактный; • Устойчив к воздействию немагнитных предметов и помех (пыль); • Простота конструкции (формы); • Возможно подключение к источникам промышленной частоты (50 Гц); • Относительно большая выходная мощность, не требующая применение усилителей; • Высокая чувствительность; • Устойчив к механическим воздействиям. 	<ul style="list-style-type: none"> • Возможность работы только с ферромагнитными материалами; • Зависимость точности от стабильности питающего напряжения по частоте; • Возможность работы только на переменном токе.

<p>Пьезоэлектрические</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Широкий диапазон рабочих частот; • Малая чувствительность к магнитным полям; • Большая вибрационная и ударная прочность; • Простота конструкции; • Малые габариты и вес. 	<ul style="list-style-type: none"> • Невысокая чувствительность, • непригодность к измерению статических величин, • Высокое входное сопротивление измерительной цепи, • Относительно невысокий уровень выходного сигнала
<p>Емкостной</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Простота изготовления, использование недорогих материалов для производства; • Малые габариты и вес; • Низкое потребление энергии; • Высокая чувствительность; • Отсутствие контактов; • Долгий срок эксплуатации; • Потребность весьма малых усилий для перемещения подвижной части емкостного датчика; • Простота приспособления формы датчика к различным задачам и конструкциям. 	<ul style="list-style-type: none"> • Сравнительно небольшой коэффициент передачи (преобразования); • Высокие требования к экранировке деталей; • Необходимость работы на повышенной (по сравнению с 50 Гц) частоте.
<p>Трансформаторный (индуктивный)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Высокий коэффициент преобразования (можно работать без специальных усилительных устройств); • Простота конструкции. 	<ul style="list-style-type: none"> • Наличие на выходе постоянной составляющей сигнала (для компенсации которой применяют мостовые или дифференциальные схемы); • Возникновение погрешности при колебании напряжения, частоты питания и температуры.

В ходе проведения аналитического обзора были рассмотрены одни из наиболее распространенных на сегодняшний день конструкторских решения по реализации аппаратно-программного обеспечения для проведения исследования виброакустических сигналов, предлагаемых российскими производителями (табл. 2).

Таблица 2 – Анализаторы вибраций

№ п/п	Производитель	Анализаторы вибраций (по количеству каналов измерения вибраций)		
		Одноканальные	Двухканальные	Многоканальные
1	Диамех	КВАРЦ / ТОПАЗ	АГАТ-М	КВАРЦ (при условии использования 8-ми канального расширительного модуля)
			ОНИКС	
2	Интерприбор	ВИБРАН – 2		ВИБРАН – 3 (4 канала)
3	Вибро-Центр		Диана-2М	ViAna-4 (4 канала)
				Атлант-8 (8, 16, 32 канала)

В результате проведенного аналитического обзора приборов предлагаемых на рынке, было установлено, что, наиболее востребованными являются двухканальные анализаторы вибраций, что обусловлено их универсальностью, сравнительно невысокой стоимостью и возможностью проведения достаточно сложных диагностических работ.

Из приведенного перечня двухканальных анализаторов вибраций, наиболее выгодно выделяется виброизмерительный прибор «Диана-2М», это обусловлено наличием необходимых функций и широкого спектрального разрешения, равного 51200 линий, против 800 линий предлагаемых прибором «АГАТ-М», и как следствие возможностью диагностирования большей номенклатуры дефектов, встречающихся в анализируемых механизмах.

Использование виброизмерительной техники предусматриваем необходимость последующего анализа полученных виброакустических

сигналов. Под анализом, в данном случае, понимается исследование функциональных зависимостей, измеряемых параметров вибрации от одной или нескольких независимых переменных [1]. Как правило, в качестве независимых переменных используются:

- Время;
- Частота;
- Координата пространства;
- Порядковый номер в совокупности независимых измерений вибрации.

Исходя из перечня переменных, анализ вибраций подразделяется на следующие виды:

- 1) Анализ вибрации во временной области;
- 2) Анализ вибрации в частотной области;
- 3) Многопараметрический анализ вибрации.

Каждый из которых подразделяется на подвиды:

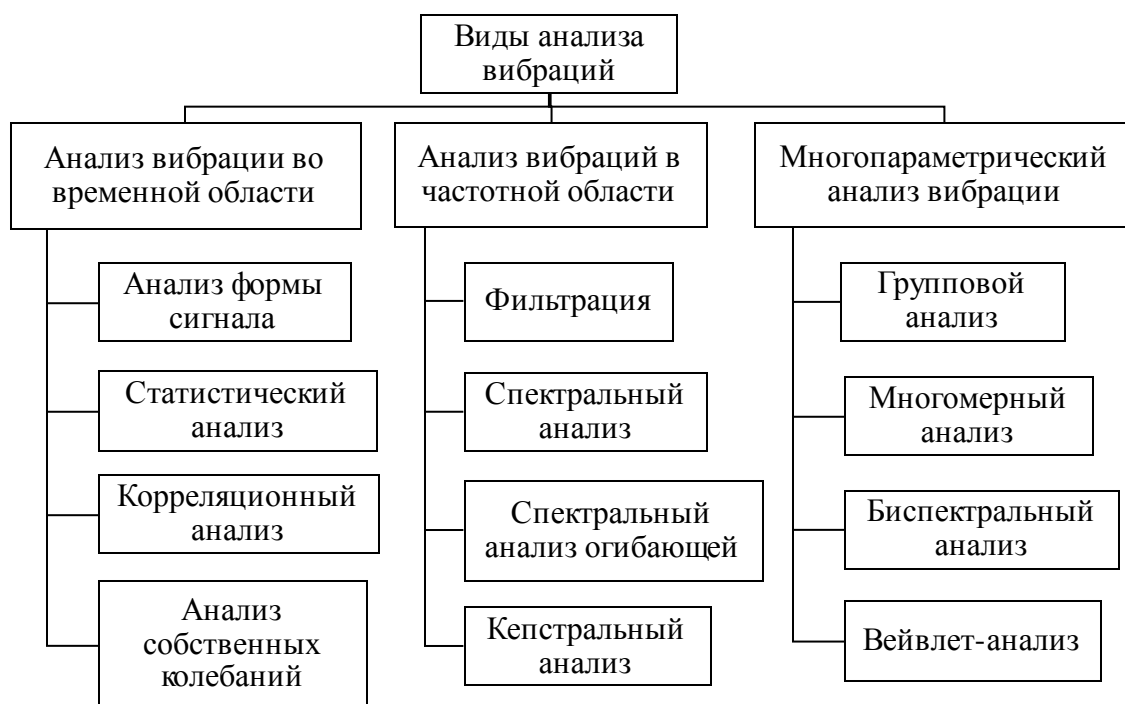


Рисунок 1 – Виды анализа вибраций

Анализ вибраций, проводимый в рамках работы, будет сводиться к выявлению режимов трения, характерных для работы реальных механизмов и

машин, обусловленной наличием смазочного материала. На данный момент, по наличию смазочного материала выделяют следующие режимы трения.

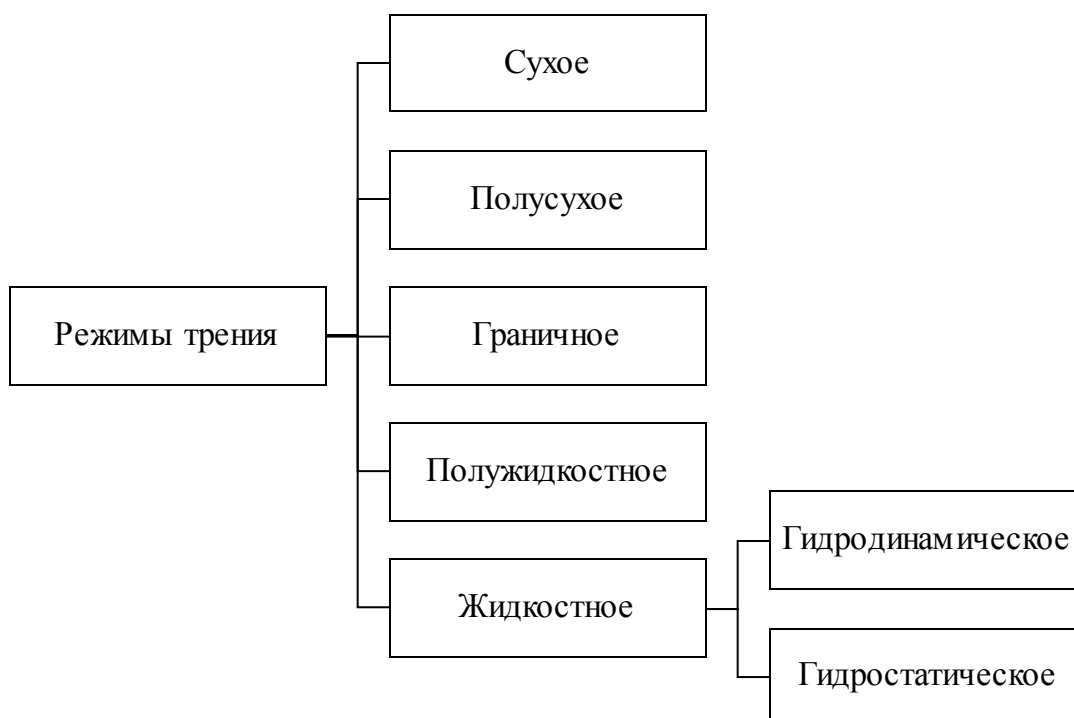


Рисунок 2 – Режимы трения

Сухое трение – трение возникающее при отсутствии смазочного материала в месте контакта трущихся поверхностей. Отличается наибольшим коэффициентом трения, обычно, достигающим 0,2...0,5. Использование данного режима трения характерно для тормозов, сухих муфт, ременных и сухих фрикционных передач [6].

Полусухое трение – смешанное трение, при котором наряду с преобладающим сухим трением на отдельных участках площади контакта возникает граничное трение. Этот вид трения характерен для резьбовых соединений, поверхностей зажима изделий [тот же].

Граничное трение – трение возникающее при наличии тонких слоев смазочного материала ($0,1 \geq \mu\text{м}$). Коэффициент трения в этом случае меньше, чем при сухом трении и обычно достигает величины 0,05...0,1. Явление граничного трения характерно для подшипников работающих на малых скоростях, большинства направляющих, вариаторов и зубчатых передач [тот же].

Полужидкостное трение – трение, сочетающее в себе жидкостное и граничное трение. Возникает, как правило, в тихоходных опорах представляющих собой подшипники и направляющие, а также при запусках и остановках опор жидкостного трения [тот же].

Жидкостное гидродинамическое трение – трение, при котором смазочный материал увлекается в сужающийся между трущимися поверхностями зазор и создает гидродинамическое давление, полностью уравновешивающее внешнюю нагрузку. Возникает в подшипниках и направляющих, работающих на больших скоростях [тот же].

Жидкостное гидростатическое трение – трение, при котором смазочный материал под давлением подается в место контакта трущихся поверхностей. Применяется на малых скоростях, недостаточных для обеспечения гидродинамического трения, для снижения момента трения и износа при запуске механизмов [тот же].

Исходя из этого, можно утверждать, что, различные режимы трения, возникающие в работающих механизмах, характеризуются разными триботехническими, и как следствие, вибрационными характеристиками.

Объект и методы исследования

Объектом выпускной квалификационной работы являются вибрационные характеристики узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия.

Цель проведения работы заключается в определении влияния вибрационной составляющей на точность воспроизведения динамических законов нагружения и триботехнические характеристики узла трения при его испытании на автоматизированном триботехническом комплексе.

В процессе написания работы решались следующие задачи:

1. Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования для исследования и анализа виброакустических сигналов.
2. Построение математической модели формирования виброакустических сигналов.
3. Разработка программного обеспечения для моделирования и анализа виброакустических сигналов.
4. Исследование виброакустических сигналов при испытаниях трибосопряжения на автоматизированном триботехническом комплексе в условиях различных режимов нагружения.

Основным видом анализа, которому подвергаются механизмы, предусматривающие совершение вращательного и возвратно-вращательного движения, является спектральный анализ. Сущность данного анализа заключается в выделении простейших составляющих из сложного сигнала, представляющего собой произведение двух стационарных компонент, как минимум, одна из которых должна содержать в себе периодические составляющие. Именно структура подобного рода характерна для многих колебательных сил во вращающемся оборудовании [2].

1 Расчеты и аналитика

1.1 Построение математической модели

1.1.1 Принципиальная схема

Рассмотрим принципиальную схему автоматизированного триботехнического комплекса (рис.1.1).

Автоматизированный триботехнический комплекс состоит из двух основных узлов: машины трения 1 и системы управления 2.

В рамках испытаний, предусмотренных выпускной квалификационной работой, наибольший интерес для нас представляет машина трения 1, а именно, ее проточная испытательная камера 3 и электродвигатель постоянного тока (ЭДПТ) привода главного движения 4, которые в совокупности представляют собой узел скоростного динамического нагружения.

Узел имеет вертикальную компоновку. Принцип работы узла скоростного динамического нагружения заключается в следующем: в управляющей программе формируется закон нагружения системы, определяющий частоту вращения привода и интенсивность силового нагружения, создаваемого в паре трения «вал – колодки» (колодки – контртело). В процессе работы при возникновении нагрузки на ведомом валу происходит скручивание упругого элемента.

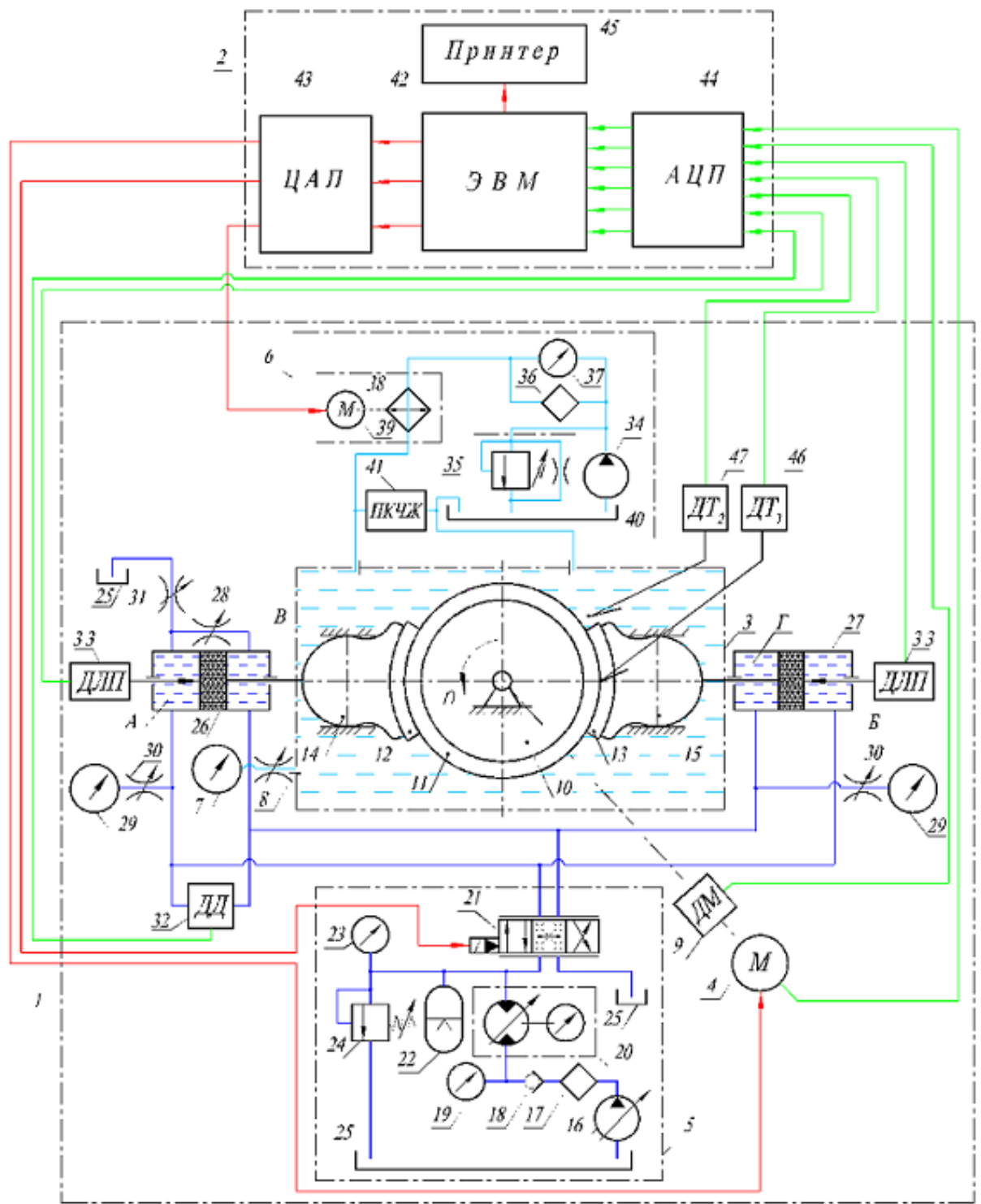


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема автоматизированного триботехнического комплекса: 1 – машина трения; 2 – система управления; 3 – испытательная камера; 4 – привод главного движения; 5 – система нагружения; 6 – система, фильтрации и терморегуляции смазочной среды.

На основании принципиальной схемы, производим построение и расчет математической модели узла скоростного динамического нагружения.

1.1.2 Расчетная схема

Произведем построение расчетной схемы узла скоростного динамического нагружения, отражающей все факторы воздействия на данный узел в процессе его функционирования.

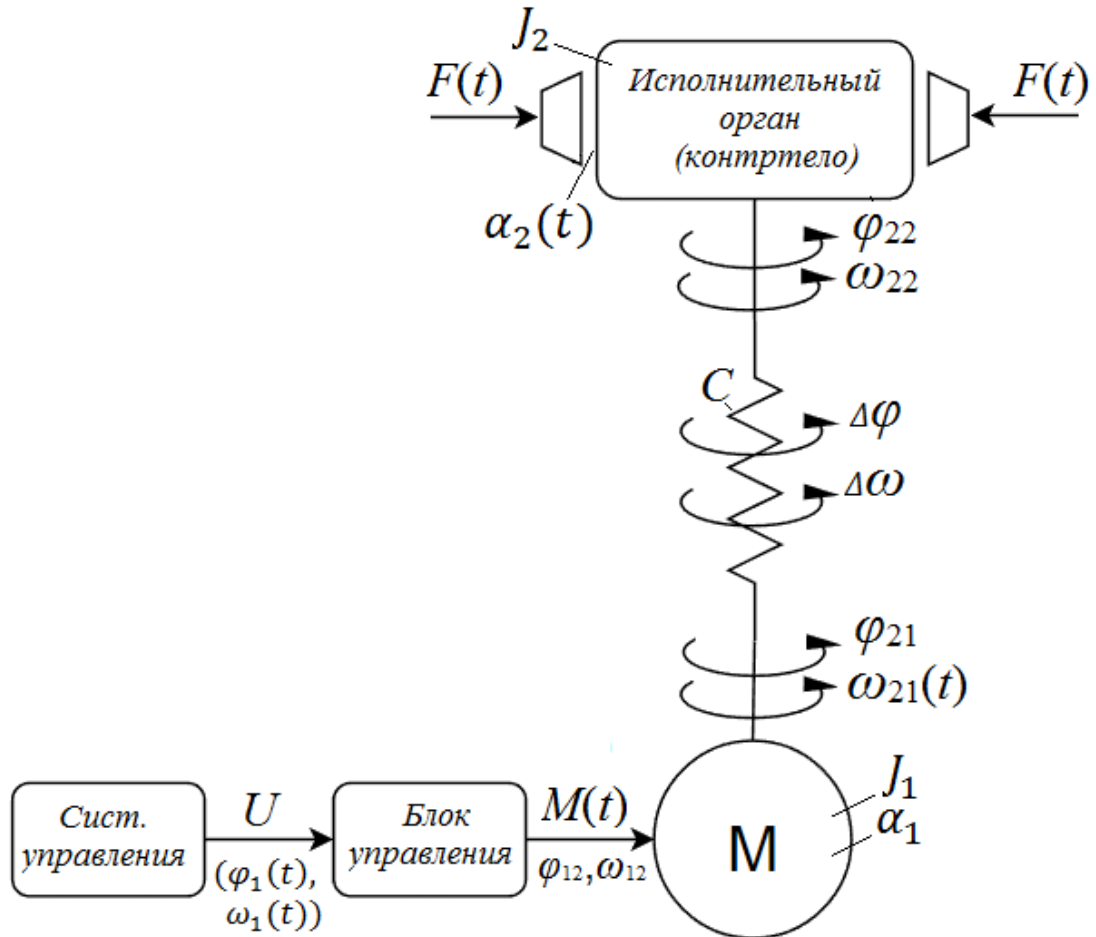


Рисунок 1.2 – Расчетная схема

Внешние воздействия $F(t)$ и $\omega_{21}(t)$ имеют следующие значения:

$$F(t) = const.$$

$$U = const; var.$$

1.1.3 Структурная схема

Используя графическое отображение сил, возникающих при работе узла скоростного динамического нагружения, составляем структурную схему (рис.1.3).

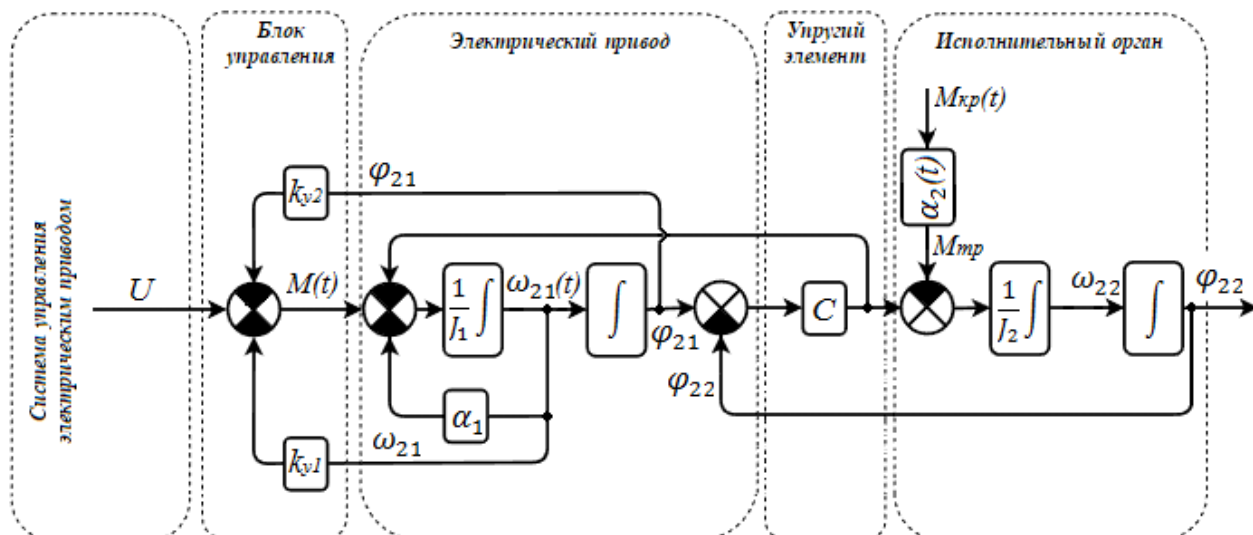


Рисунок 1.3 – Структурная схема

1.1.3.1 Определение параметров

Производим определение (расчет) параметров элементов структурной схемы.

Полярный момент инерции электродвигателя (J_1) определяется в соответствии с паспортными данными и составляет **0,0059** кг·м².

Исполнительный орган, в данном случае, рассматривается как сплошной цилиндр, а это значит, что его момент инерции (J_2) устанавливается в соответствии со следующей формулой:

$$J_2 = \frac{1}{2} mR^2, \quad (1.1)$$

где

m – масса исполнительного органа, кг;

R – радиус исполнительного органа, м.

Таким образом, момент инерции исполнительного органа составляет:

$$J_2 = \frac{1}{2} \cdot 0,2 \cdot (0,025)^2 = \mathbf{0,0000625} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

В соответствии с формулой (1.2), производим расчет коэффициента упругости стержня выступающего в качестве упругого элемента:

$$C = E \cdot S/L, \quad (1.2)$$

где

E – модуль Юнга, Па;

S – площадь поперечного сечения стержня, м²;

L – длина стержня, м.

$$C = 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,2826 \cdot 10^{-4} / 0,136 = 436,37 \text{ Н/м}$$

Коэффициент трения (α_1) возникающий в двигателе:

$$\alpha_1 = 0,25$$

Значение коэффициента трения скольжения ($\alpha_2(t)$) возникающего при взаимодействии исполнительного органа с колодками, есть *величина не постоянная*, что обусловлено ее зависимостью от состояния поверхности трения и относительной скорости движения.

1.1.3.2 Динамическая модель

Ранее построенную структурную схему узла скоростного динамического нагружения переносим в графическую среду имитационного моделирования «Simulink» интегрированную в среду «MATLAB» и присваиваем значения параметрам структурной схемы в соответствии с расчетами проведенными выше (п/п 1.1.3.1).

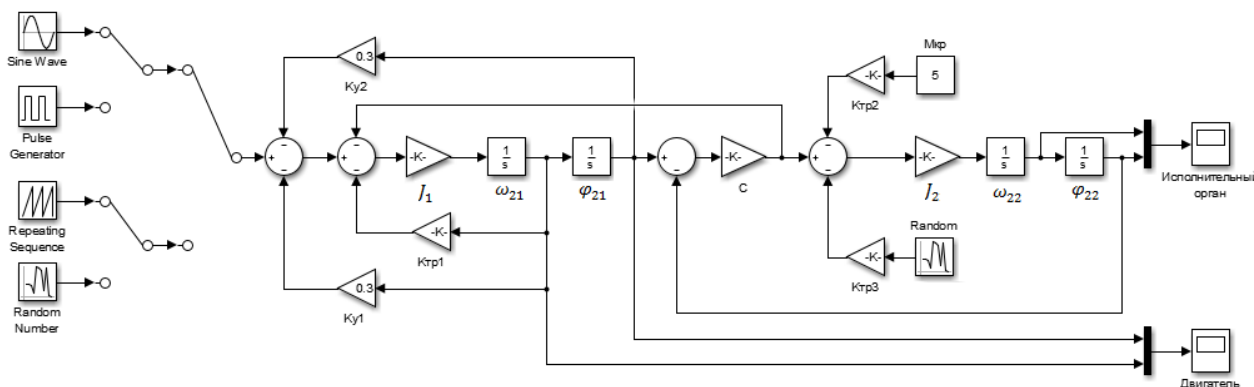


Рисунок 1.4 – Структурная схема в среде «Simulink»

Для построения графиков зависимости угла поворота и скорости вращения исполнительного органа от времени работы УСДН, запускаем процесс симуляции работы механизма в «Simulink».

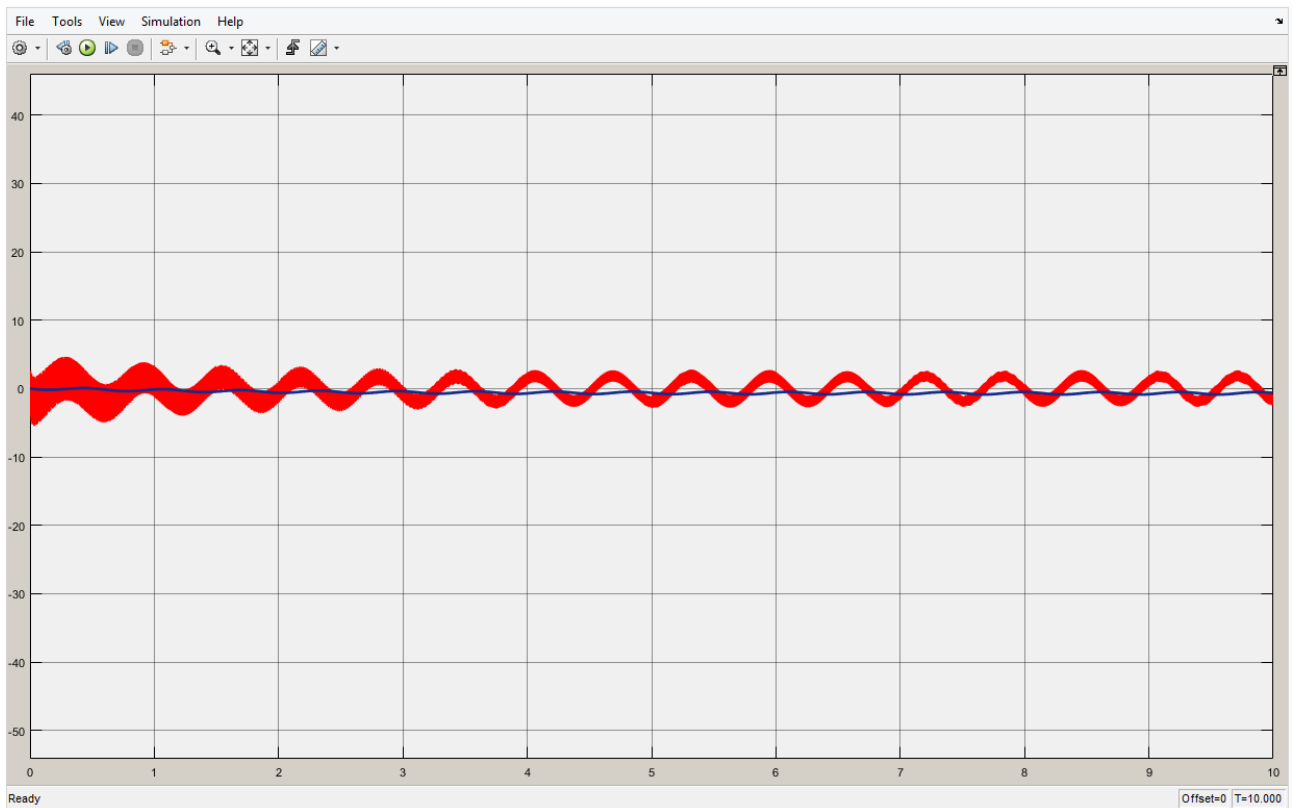


Рисунок 1.5 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ИО от времени при синусовом законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)

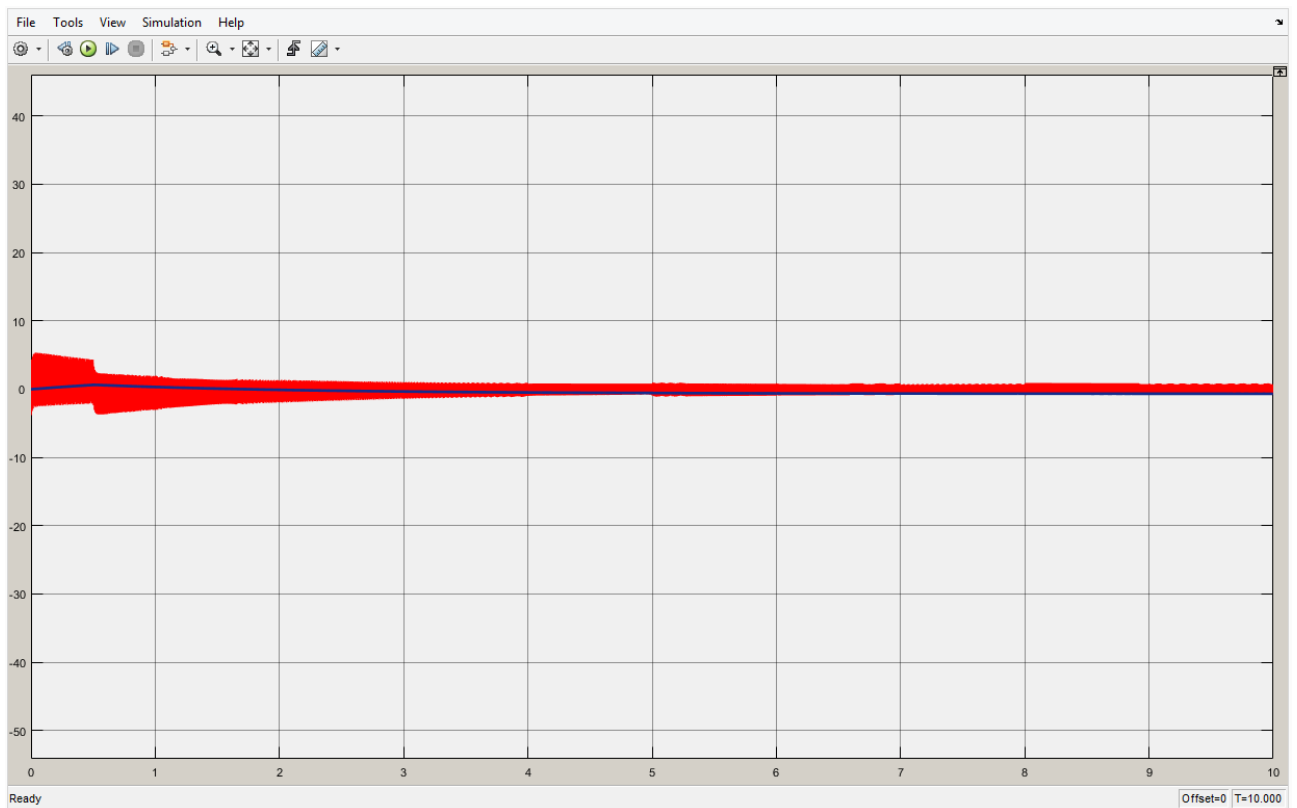


Рисунок 1.6 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ИО от времени при импульсном законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)

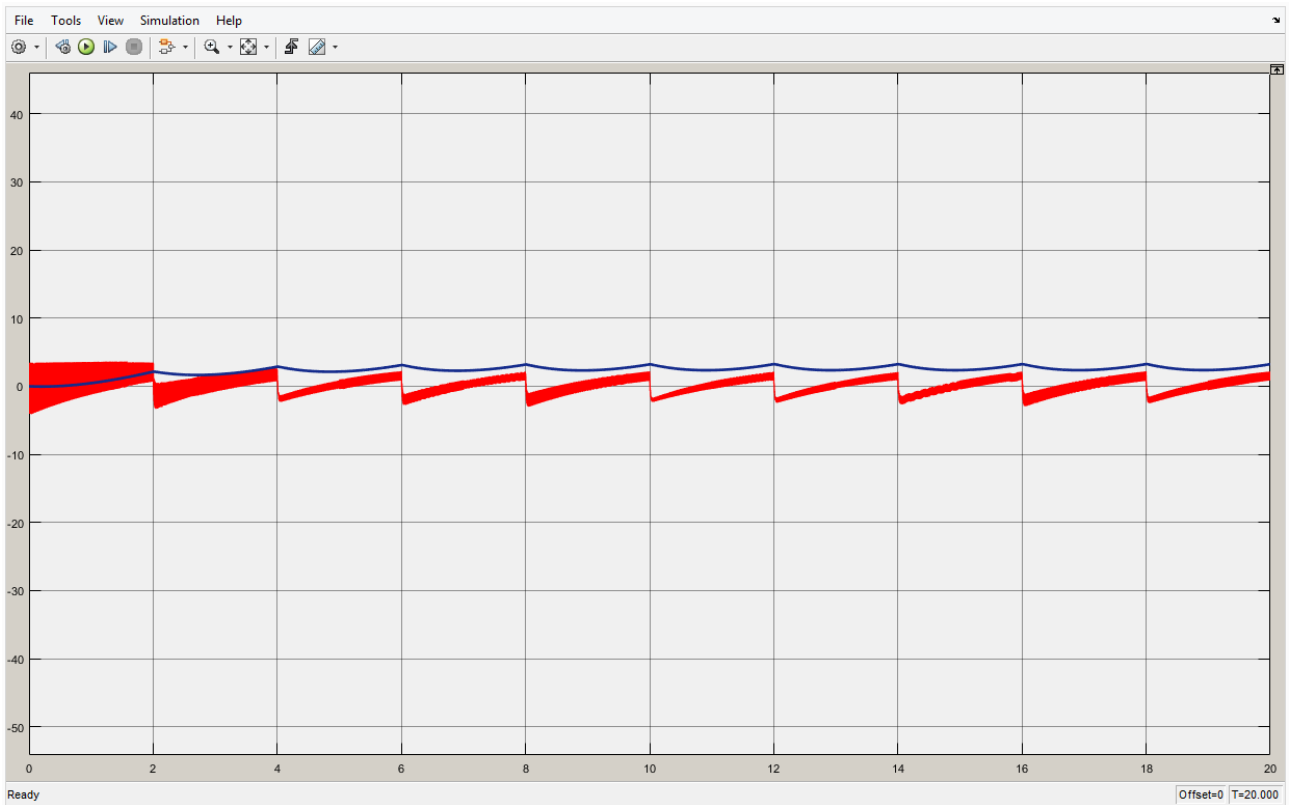


Рисунок 1.7 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ИО от времени при пилообразном законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)

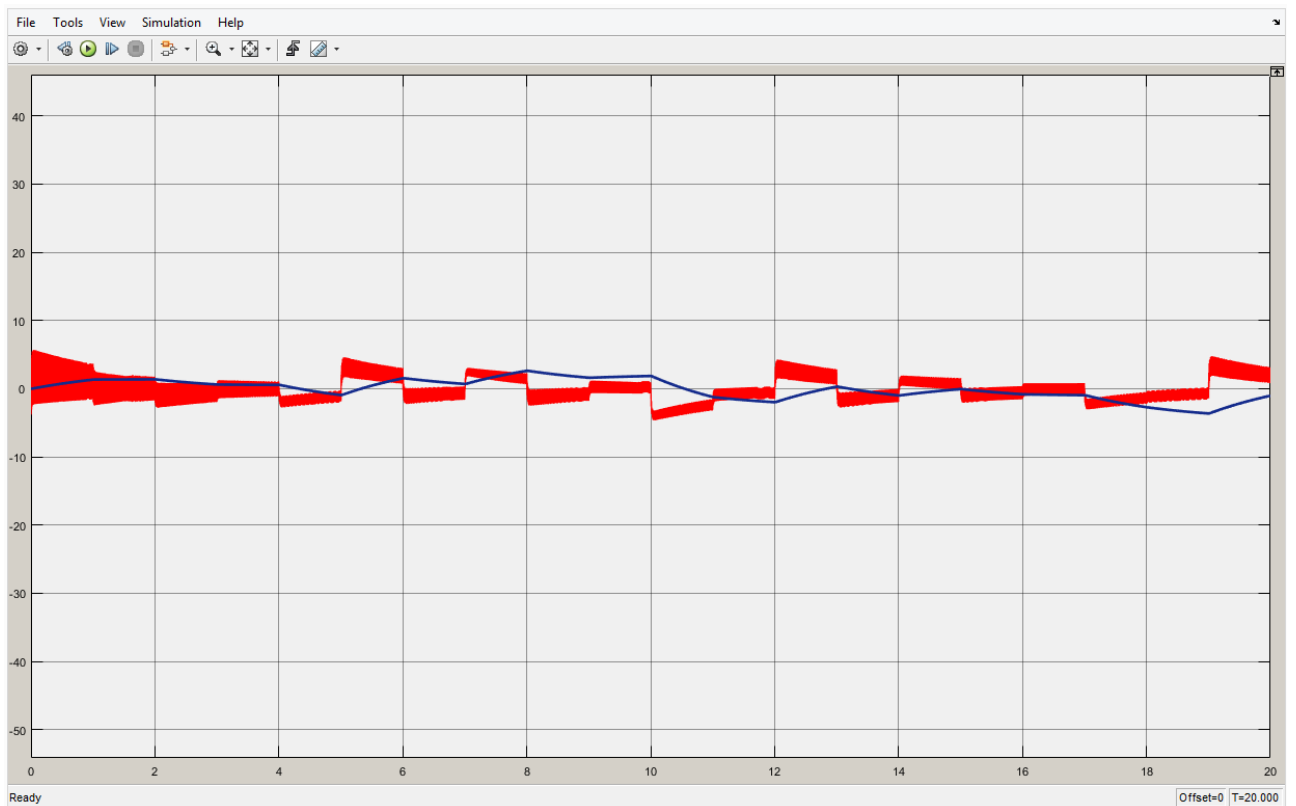


Рисунок 1.8 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ИО от времени при произвольном законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)

На основании графиков зависимости можно утверждать, что работа исполнительного органа, при различных законах нагружения, обусловлена плавным переходом к установившемуся режиму. Это говорит о том, что проведение испытательных работ должно начинаться не ранее чем через 4 секунды после запуска системы.

Аналогичным образом проводим определение зависимостей электродвигателя.

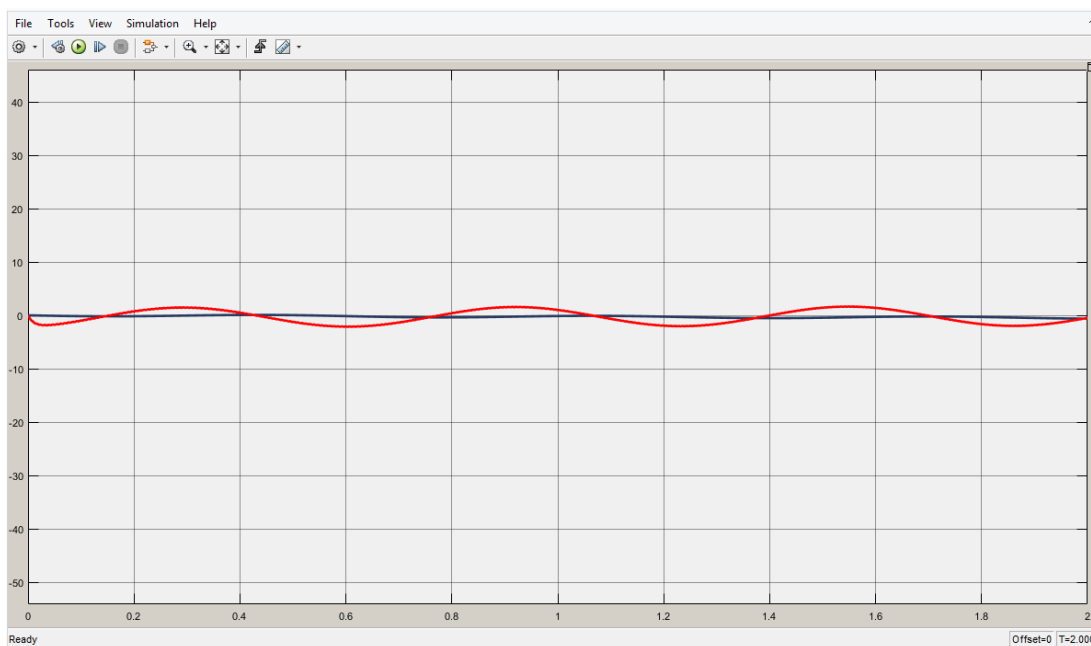


Рисунок 1.9 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ЭД от времени при синусовом законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)



Рисунок 1.10 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ЭД от времени при импульсном законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)

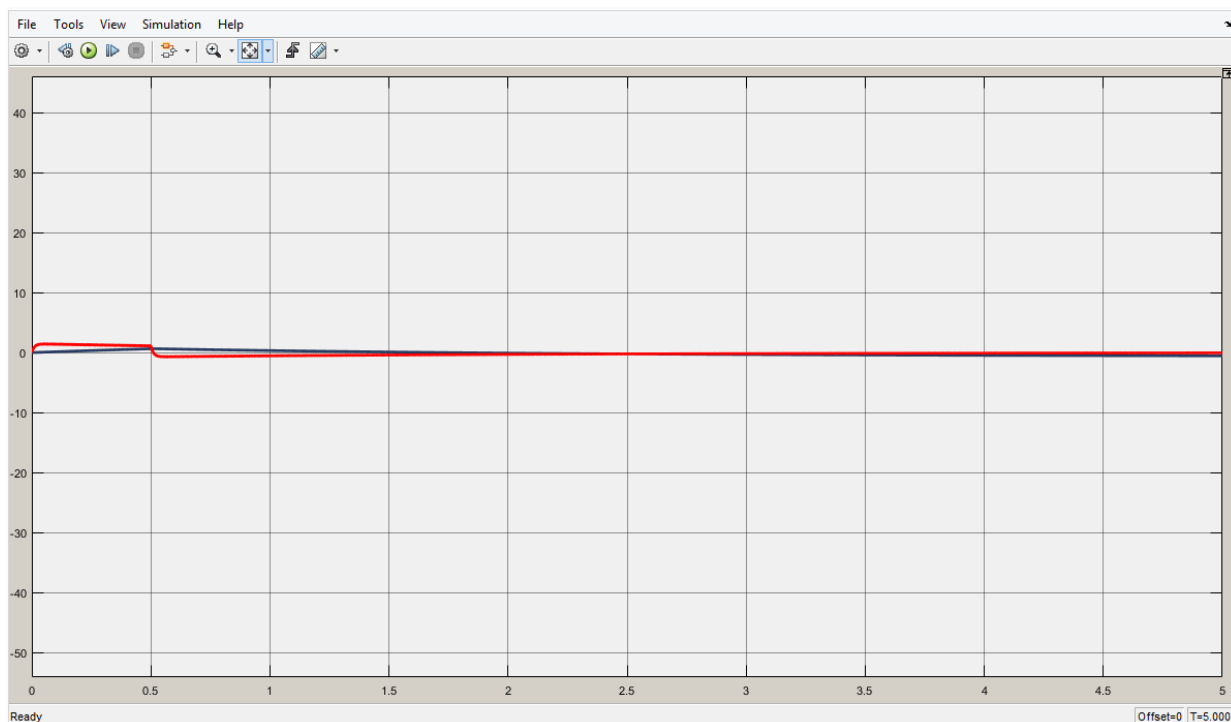


Рисунок 1.11 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ЭД от времени при импульсном законе нагружения (красный – скорость, синий – угол) – увеличенный

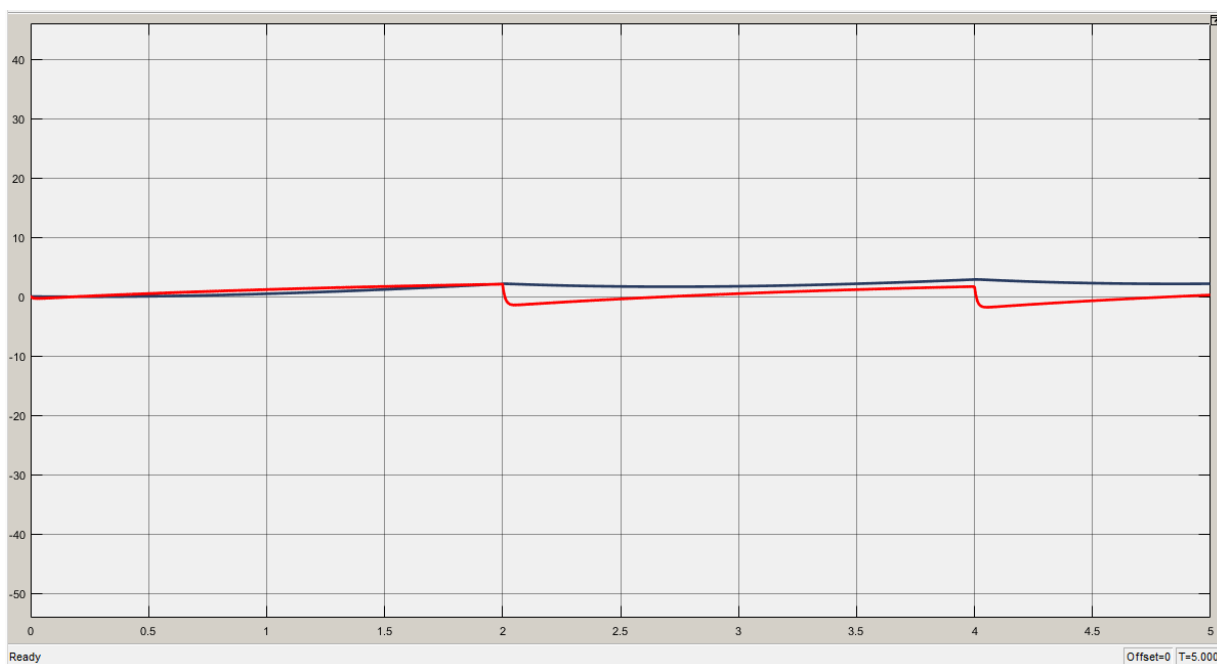


Рисунок 1.12 – График зависимости угла поворота и скорости вращения ЭД от времени при пилообразном законе нагружения (красный – скорость, синий – угол)

Из графиков видно, что при синусовом законе нагружения выход ЭД на рабочий режим занимает не более 0,2 сек. При импульсном и пилообразном законах нагружения стабилизация процесса протекает на протяжении 1 сек.

1.2 Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования

Комплекс контрольно-измерительного оборудования представляет собой модуль аналогового ввода NI 9234 установленный на реконфигурируемом встраиваемом шасси интеллектуального контроллера NI cRIO-9012 и подведенный к нему вибропреобразователь AP2082M-100.

Использование модуля сбора данных фирмы “National Instruments” (NI) обусловлено применением на автоматизированном триботехническом комплексе реконфигурируемого шасси cRIO-9012 предназначенного для обработки данных (мониторинга системы) в режиме реального времени (рис.1.13).

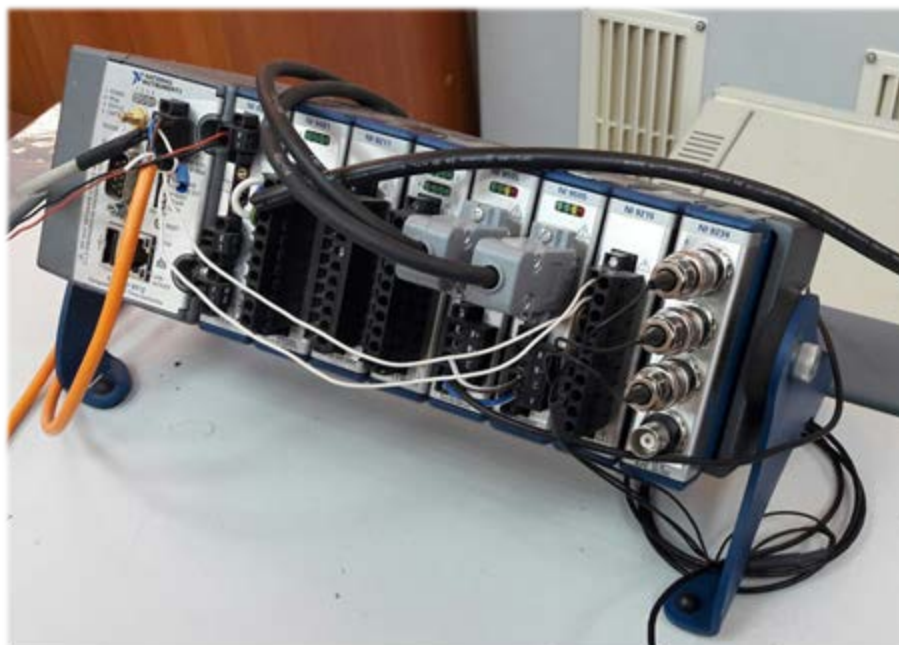


Рисунок 1.13 – Реконфигурируемое встраиваемое шасси интеллектуального контроллера NI cRIO-9012

Исходя из специфики применения модуля подобного типа, заключающейся в определении вибрационного фона возникающего на модуле скоростного динамического нагружения автоматизированного триботехнического комплекса, был выбран модуль аналогового ввода NI 9234 (рис.1.14), обеспечивающий возможность интеллектуального подключения пьезоэлектрических датчиков по четырем каналам и одновременной оцифровки получаемых сигналов.



Рисунок 1.14 – Модуль аналогового ввода NI 9234

Наличие у модуля четырех независимых каналов, обуславливает возможность применения одного трехкомпонентного вибропреобразователя, для параллельного фиксирования получаемых данных по трем координатным осям (X, Y, Z) без необходимости изменения положения самого датчика и, как следствие, уменьшения времени затрачиваемого на проведение вибродиагностики системы.

Выбор датчика вибраций производился на основании анализа предлагаемых на рынке трехкомпонентных вибропреобразователей, обладающих высокой чувствительностью (≈ 10 мВ/(м/с²)), частотным диапазоном до 10000 Гц, малыми габаритами, небольшой массой и сравнительно низкой ценой.

В результате анализа, был приобретен вибропреобразователь типа AP2082M-100, обладающий следующими характеристиками (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Технические характеристики вибропреобразователя AP2082M-100.

Показатель		Величина
Осевая чувствительность, мВ/g	Ось X	106
	Ось Y	101
	Ось Z	99
Амплитудный диапазон, g		± 50
Максимальный удар, g		± 100
Рабочий диапазон температур, °C		-40 ... +125
Частотный диапазон, Гц		0,5...10000

Собственная частота, кГц	>30
Уровень шума, г	≤0,0003
Выходное сопротивление, Ом	<500
Напряжение питания, В	+(18...30)
Ток питания, мА	2...20
Уровень постоянного напряжения на выходе, В	10...13
Время установления рабочего режима, с	4
Масса, г	26



Рисунок 1.15 – Трехкомпонентный вибропреобразователь AP2082M-100

Достоинства комплекса контрольно-измерительного оборудования:

1. Возможность одновременного съема данных по трем осям координат (X, Y, Z);
2. Полная интеграция комплекса контрольно-измерительного оборудования с автоматизированным триботехническим комплексом (отсутствие необходимости в использовании стороннего оборудования);

Недостатки комплекса контрольно-измерительного оборудования:

1. Малая мобильность;
2. Высокая стоимость.

В дальнейшем, на основании разработанного комплекса контрольно-измерительного оборудования и его программного обеспечения, будет создан специализированный контроллер, отвечающий за проведение вибродиагностики и отличающийся от прототипа значительно меньшей себестоимостью.

1.3 Разработка программного обеспечения

Ввиду использования, при создании комплекса контрольно-измерительного оборудования, модулей (комплектующих) фирмы «National Instruments», программное обеспечение для анализа виброакустических сигналов создавалось в среде визуального программирования «LadVIEW», что обусловлено совместимостью используемых модулей с этим программным обеспечением.

Программирование проходило на следующих уровнях:

1. Программирование ПЛИС (FPGA), представляющее собой процесс написания раздела программы отвечающего за съем данных модулем аналогового ввода NI 9234.
2. Программирование контроллера. В данном случае, интеллектуального контроллера NI cRIO-9012, отвечающего за работу модуля съема данных и выступающего связующим звеном между этим модулем и электронно-вычислительной машиной (компьютером).

Процесс передачи данных, осуществляемый в результате функционирования разработанного программного обеспечения, представляет собой логическую цепочку, обусловленную использованием следующей системной конфигурации рис.1.16.

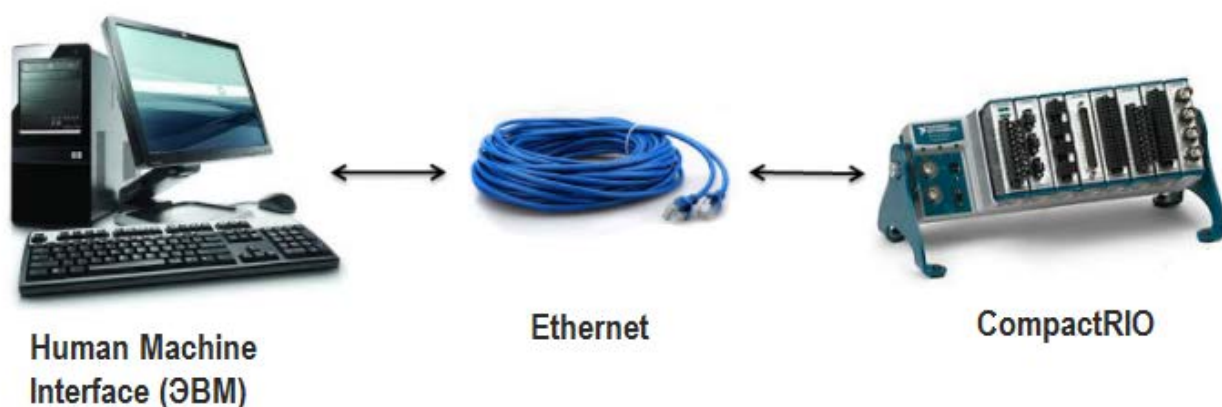


Рисунок 1.16 – Конфигурация системы передачи данных

При которой, для отправки команд, ЭВМ связывается с контроллером CompactRIO по средствам использования локальной сети (Ethernet).

Для большей наглядности, произведем графическое отображение, процесса передачи данных (рис.1.17).

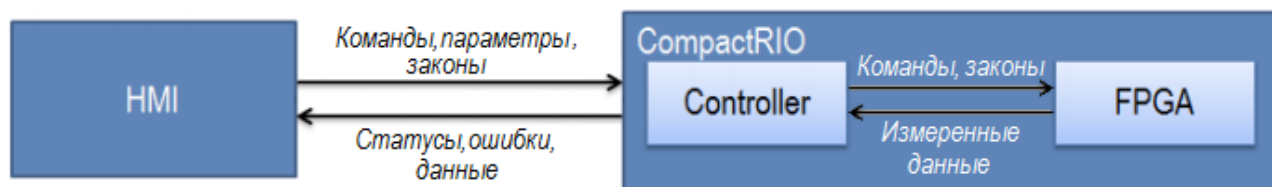


Рисунок 1.17 – Процесс передачи данных

В дальнейшем, планируется произвести модернизацию программного обеспечения, направленную на увеличения числа операторов (клиентов) имеющих возможность производить удаленный мониторинг состояния системы.

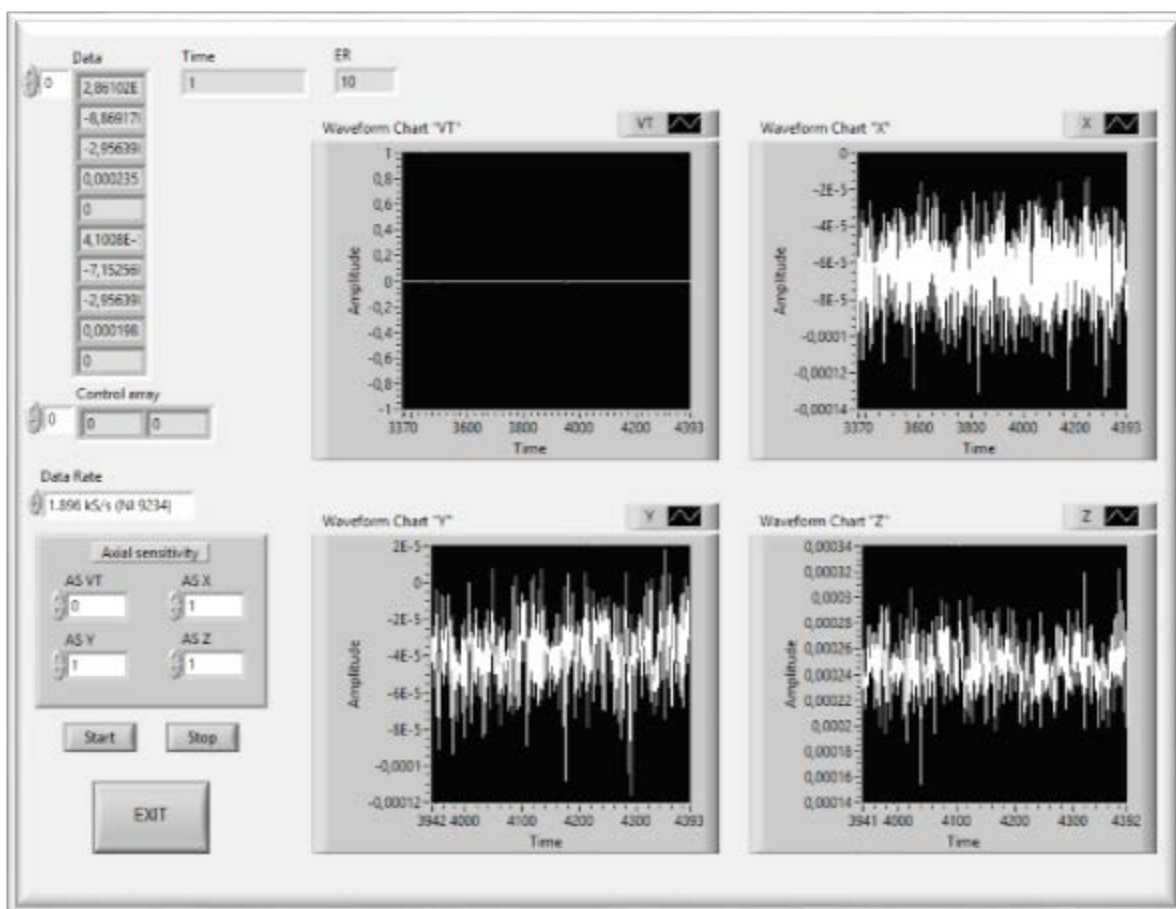


Рисунок 1.18 – Интерфейс программного обеспечения

1.4 Определение способа крепления и мест установки первичных вибропреобразователей

Точность и надежность результатов, полученных при проведении вибродиагностических исследований, на прямую зависят от выбранного способа крепления вибропреобразователя. Согласно ГОСТ ИСО 5348-2002, наилучшая работа вибропреобразователя будет достигаться при выполнении трех основных принципов:

- 1) Движения вибропреобразователя должны воспроизводить движения испытуемого объекта на месте установки вибропреобразователя с максимальной степенью подобия;
- 2) Влияние вибропреобразователя на колебания объекта (конструкции) должно сводиться к нулю;
- 3) Отношение выходного сигнала с вибропреобразователя к воспринимаемым им колебаниям не должно быть искажено влиянием собственной резонансной частотой установленного вибропреобразователя.

В свою очередь, наличие подобного рода принципов, обуславливает появления условий (требований), необходимых для их реализации:

- 1) Вибропреобразователь и его крепление должны обладать максимальной твердостью и жесткостью, а поверхность крепления должна быть максимально чистой;
- 2) Крепление вибропреобразователя должно вносить минимальные искажения в движения объекта (конструкции);
- 3) Масса вибропреобразователя с устройством крепления должна быть сравнительно мала по отношению к динамической массе исследуемой конструкции.

Также, при проведении вибродиагностических измерений соединительный кабель вибропреобразователя должен быть зафиксирован и, по возможности, удалён от источников сильных электромагнитных полей. Это обуславливается

тем, что внешнее воздействие подобного рода, может привести к возникновению дополнительных составляющих в вибрационном сигнале.

На основании практических исследований, наилучшим способом крепления вибропреобразователя считается крепление на чистую, ровную поверхность с использованием шпильки. Между вибропреобразователем и крепежной поверхностью, также рекомендуется нанести масляную пленку, что в свою очередь приведет к повышению жесткости крепления.

Длина шпильки не должна превышать глубины резьбового отверстия, так как это может привести к появлению зазора между вибропреобразователем и крепежной поверхностью и, как следствие, к снижению жесткости соединения.

В соответствии с ГОСТ ИСО 5348-2002 существуют следующие требования к креплению на шпильку:

- 1) Перпендикулярная установки датчика по отношению к поверхности;
- 2) Обработка крепежной поверхности;
- 3) Момент затяжки при испытаниях (обеспечивает наибольшую жесткость крепления и сохранение целостности датчика): М3 – 0,6 Н·м; М5 – 1,8 Н·м.

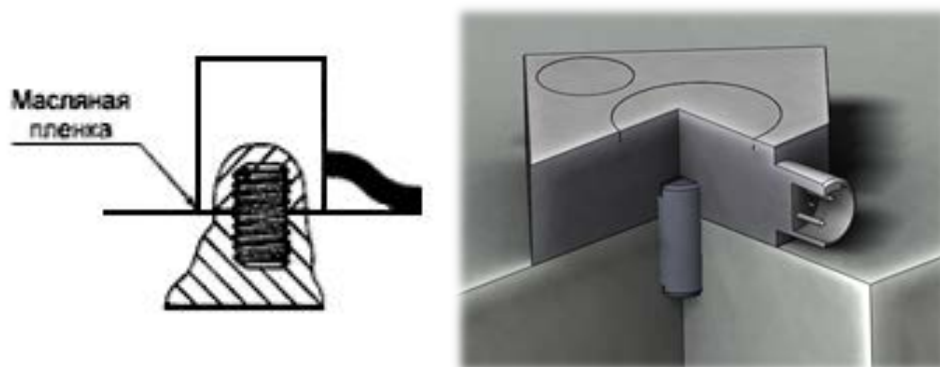


Рисунок 1.19 – Крепление на шпильку с масляной пленкой

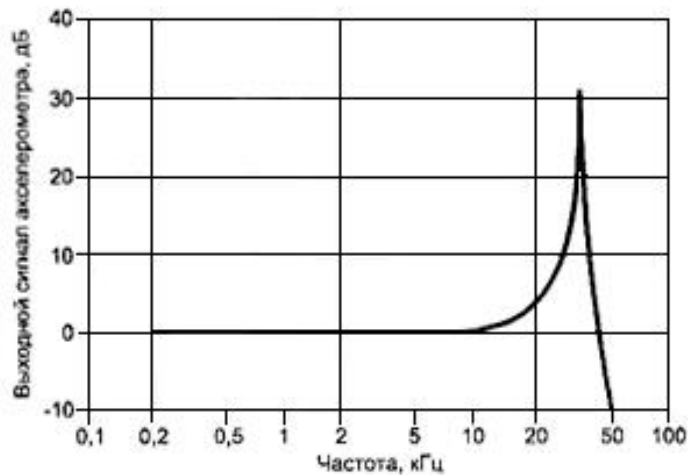


Рисунок 1.20 – Частотная характеристика вибропреобразователя, закрепленного на шпильке с масляной пленкой

Недостатками данного способа крепления является его трудоемкость, включающая подготовку места крепления, и значительные затраты времени, необходимого на монтаж и демонтаж датчика.

Альтернативным способом крепления вибропреобразователя служит крепление на клей. В это случае наблюдается незначительное снижение собственной частоты по сравнению с креплением на шпильку. Основная причина рассмотрения данного метода заключается в невозможности сверления конструкции.

Согласно ГОСТ ИСО 5348-2002, частотная характеристика при установки на клей зависит от:

- 1) Загрязнения поверхности маслом или смазкой;
- 2) Толщины клеевого слоя (чем слой тоньше, тем жесткость выше);
- 3) Модуля упругости клеевого слоя (при установке на мягкий клей);
- 4) Температуры поверхности (до 80 °С).

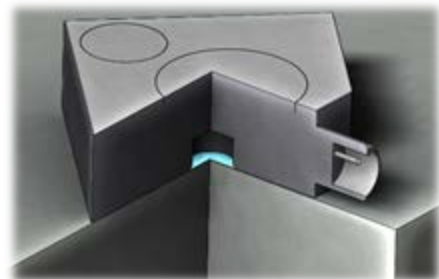


Рисунок 1.21 – Крепление на клей

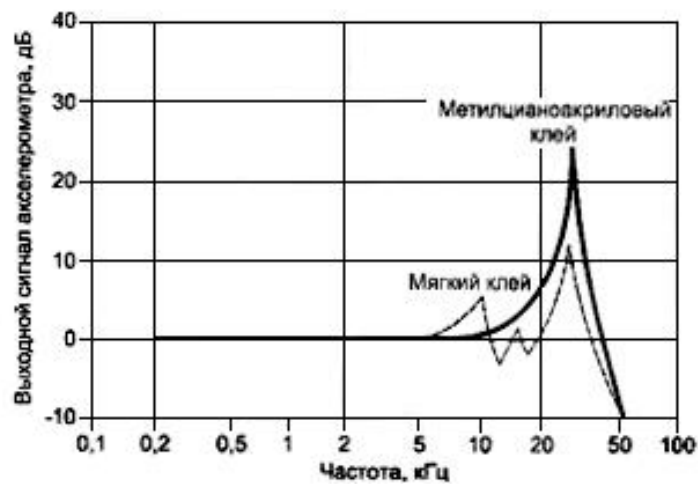


Рисунок 1.22– Частотная характеристика вибропреобразователя при клеевом соединении

Самым распространенным способом крепления вибропреобразователей является крепление на магнит. Это обусловлено относительной простотой установки и диапазоном измеряемых частот.

В соответствии с ГОСТ ИСО 5348-2002, частотная характеристика при установке на магнит зависит от:

- 1) Направления измерения;
- 2) Качества поверхности;
- 3) Массово габаритных характеристик магнита;
- 4) Магнитных свойств материала.

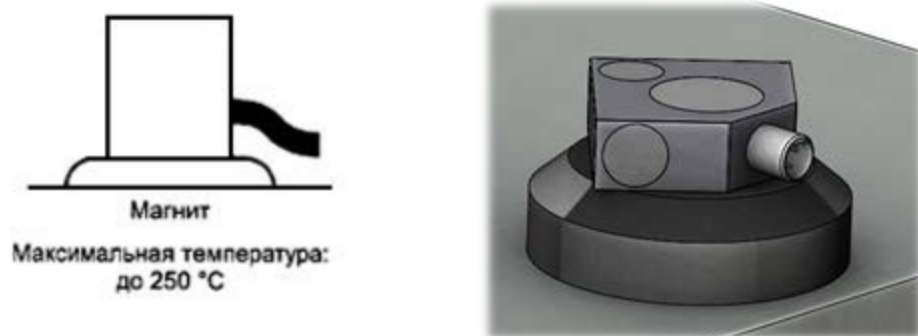


Рисунок 1.23 – Крепление на магнит

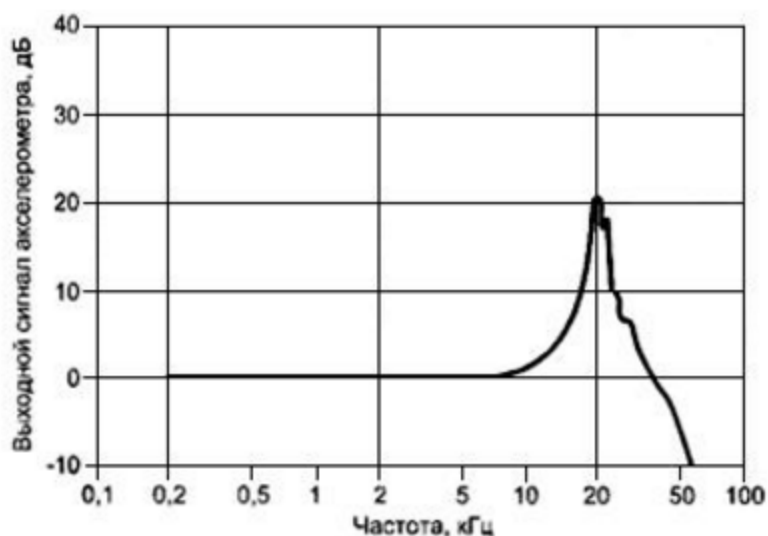


Рисунок 1.24– Частотная характеристика вибропреобразователя при установке на магнит

Самым быстрым и простым способом проведения вибродиагностических исследований является съем данных ручным щупом, но в силу непостоянства прилагаемых усилий при установке щупа и его ориентации в пространстве, этот способ позволяет производить съем данных в очень узком диапазоне частот и применяется, как правило, только в случае невозможности использования какого-либо другого способа диагностики (в труднодоступных местах).

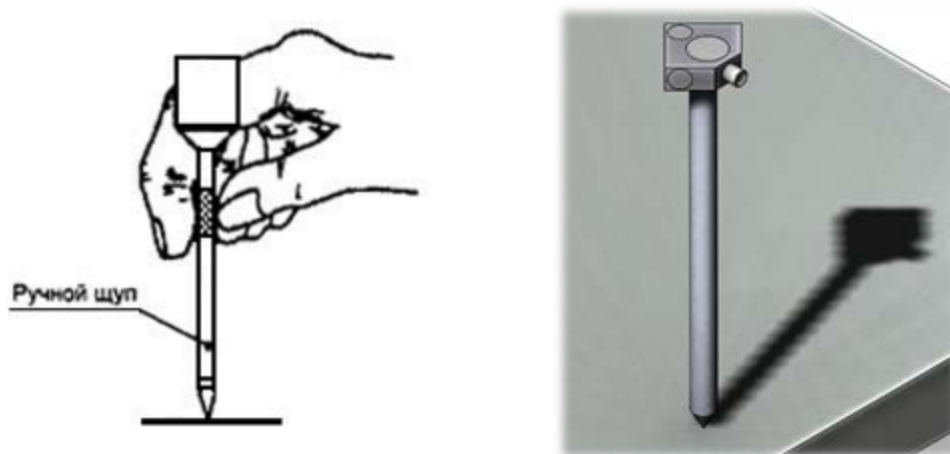


Рисунок 1.25 – Ручной щуп

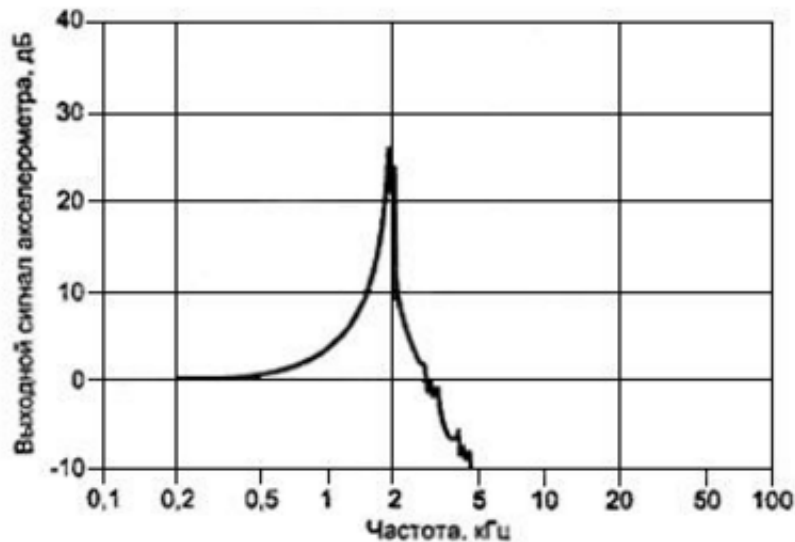


Рисунок 1.26 – Частотная характеристика вибропреобразователя с щупом

Значимость выбора верного способа крепления в процессе проведения вибродиагностических исследований очень велика, но как бы нам не хотелось получить идеальный результат, обеспечив максимальную жесткость соединения вибропреобразователя и измеряемой конструкции, основополагающими факторами в установлении требуемого способа крепления будут являться условия проведения исследований и место установки датчика вибраций.

Основным фактором в определении места установки вибропреобразователя является нахождение точки на поверхности конструкции, путь от которой до источника возникновения вибраций является наиболее коротким. Так, в случае использования электропривода или какого-либо другого механизма, характеризующегося совершением вращательного или возвратно-вращательного движения анализ вибрационного состояния механизма производится путем измерения вибраций на его подшипниковых узлах или местах, подверженных иным видам трения в трех направлениях: вертикальном, поперечном (горизонтальном) и осевом.

Исходя из рекомендаций по установке вибропреобразователей, в рамках написания выпускной квалификационной работы, с целью получения полной картины вибрационного фона узла скоростного динамического нагружения,

помимо анализа вибрационного состояния подшипниковых узлов исследуемой конструкции, так же будет произведен съем данных с пары трения «вал-колодки».

Точки измерения вибраций, принятые в рамках написания выпускной квалификационной работы, представлены на рис.1.27.



Рисунок 1.27 – Точки измерения вибраций на узле скоростного динамического нагружения.

Произведем экспериментальное исследование способов крепления, в данных точках. В целях обеспечения высокой степени достоверности полученных данных, производим определение доверительного интервала величин полученных экспериментальным путем.

Процесс определения доверительного интервала заключается в следующем:

- 1) Определение среднего значения выборки;

$$\tilde{x} = \sum x/n, \quad (1.3)$$

где

$\sum x$ – сумма элементов выборки;

n – размер выборки.

- 2) Определение стандартного отклонения выборки;

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \tilde{x})^2}{n}} \quad (1.4)$$

- 3) Выбор доверительного уровня (как правило принимаются: 90%, **95%** или 99%);

- 4) Вычисление критического значения ($Z_{\alpha/2} = 1,96$ при принятом доверительном уровне в 95%);

- 5) Расчет предела погрешности;

$$\beta = Z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1.5)$$

- 6) Определение доверительного интервала.

$$\tilde{x} \mp \beta \quad (1.6)$$

Крепление вибропреобразователя в измерительной точке №1

Статический режим нагружения:

$$F(t) = 250 \text{ Н}$$

$$\omega_{21}(t) = 500 \text{ об/мин}$$

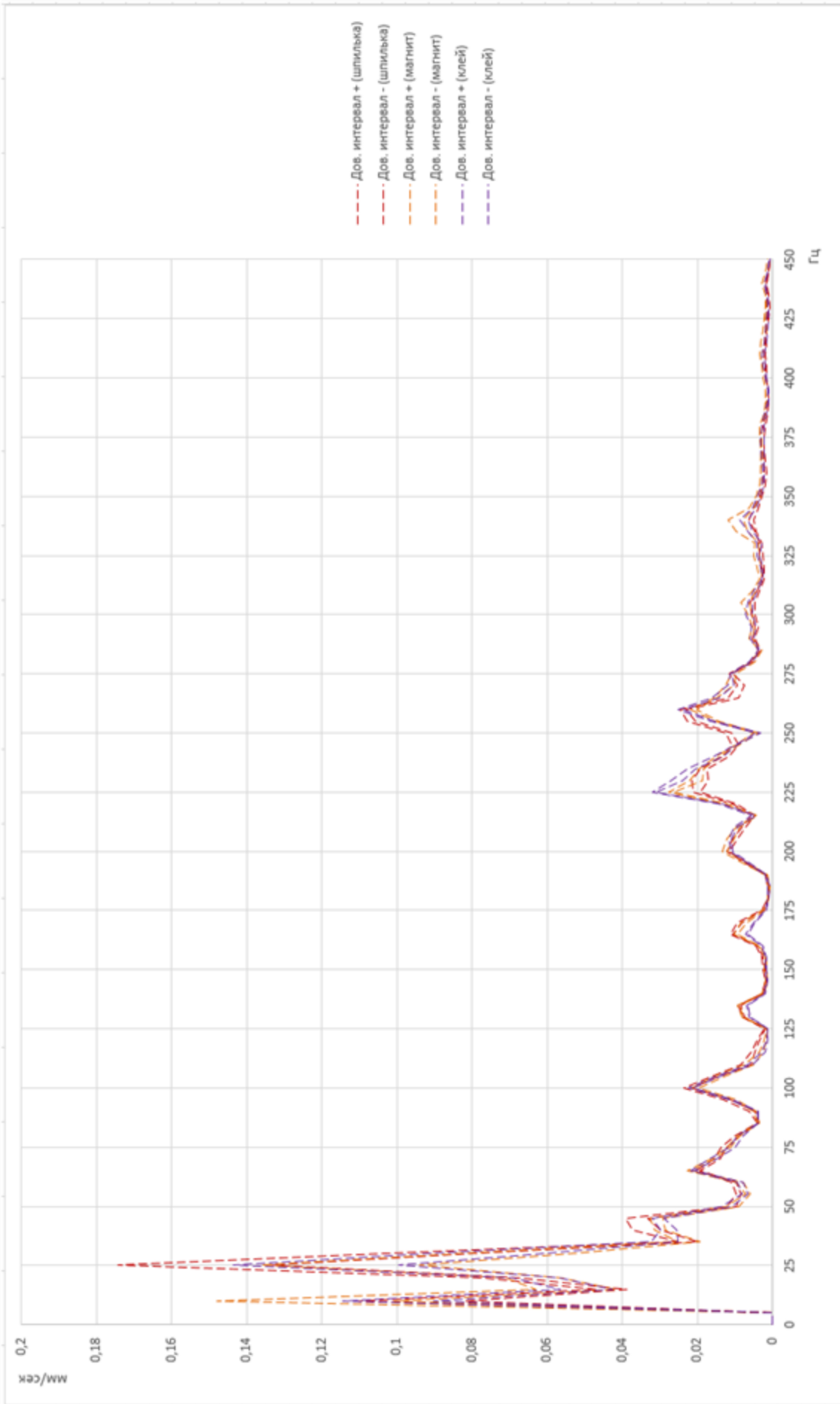


Рисунок 1.28 – Спектры сигнала по оси X (точка №1)

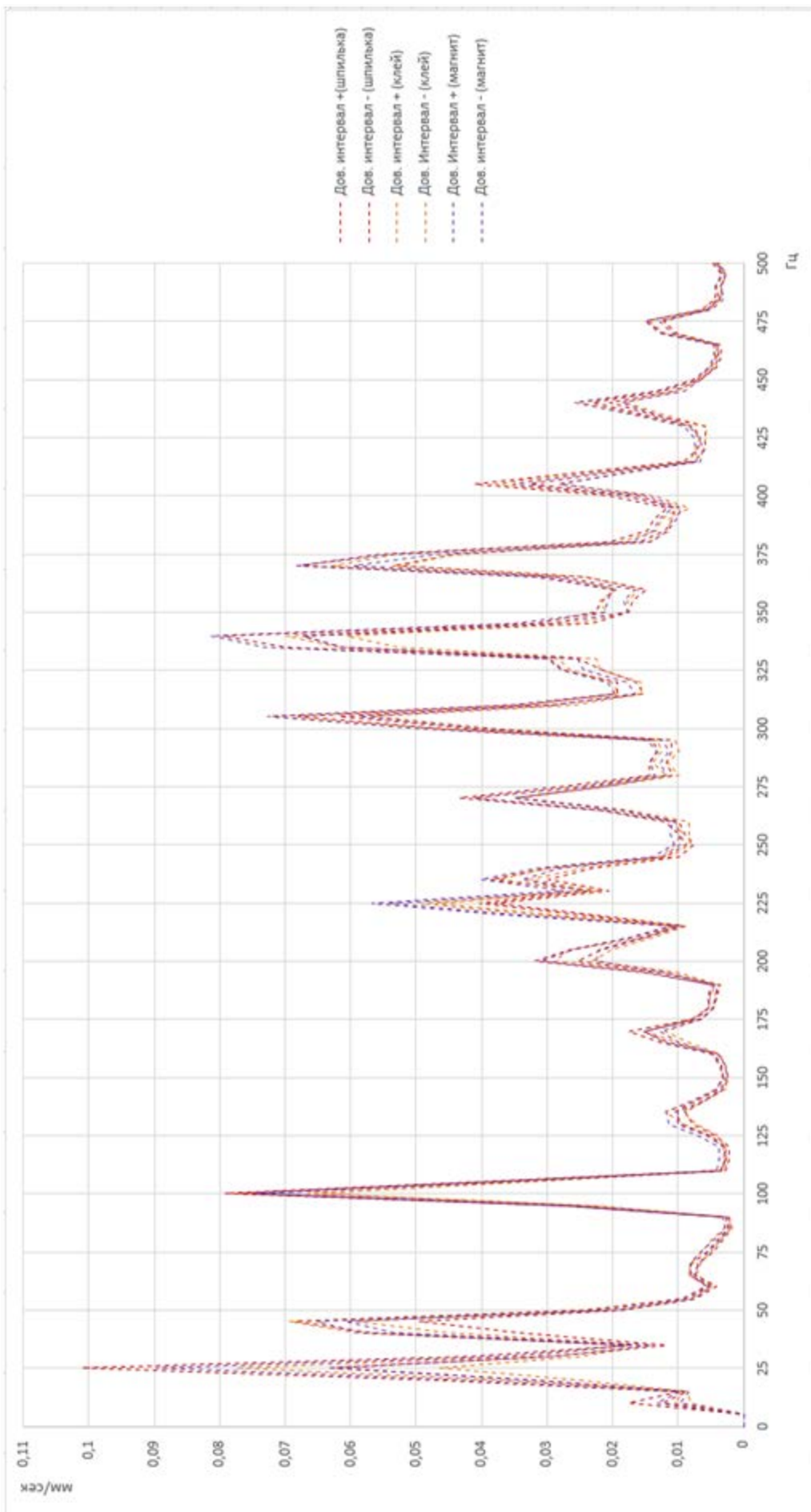


Рисунок 1.29 – Спектры сигнала по оси Y (точка №1)

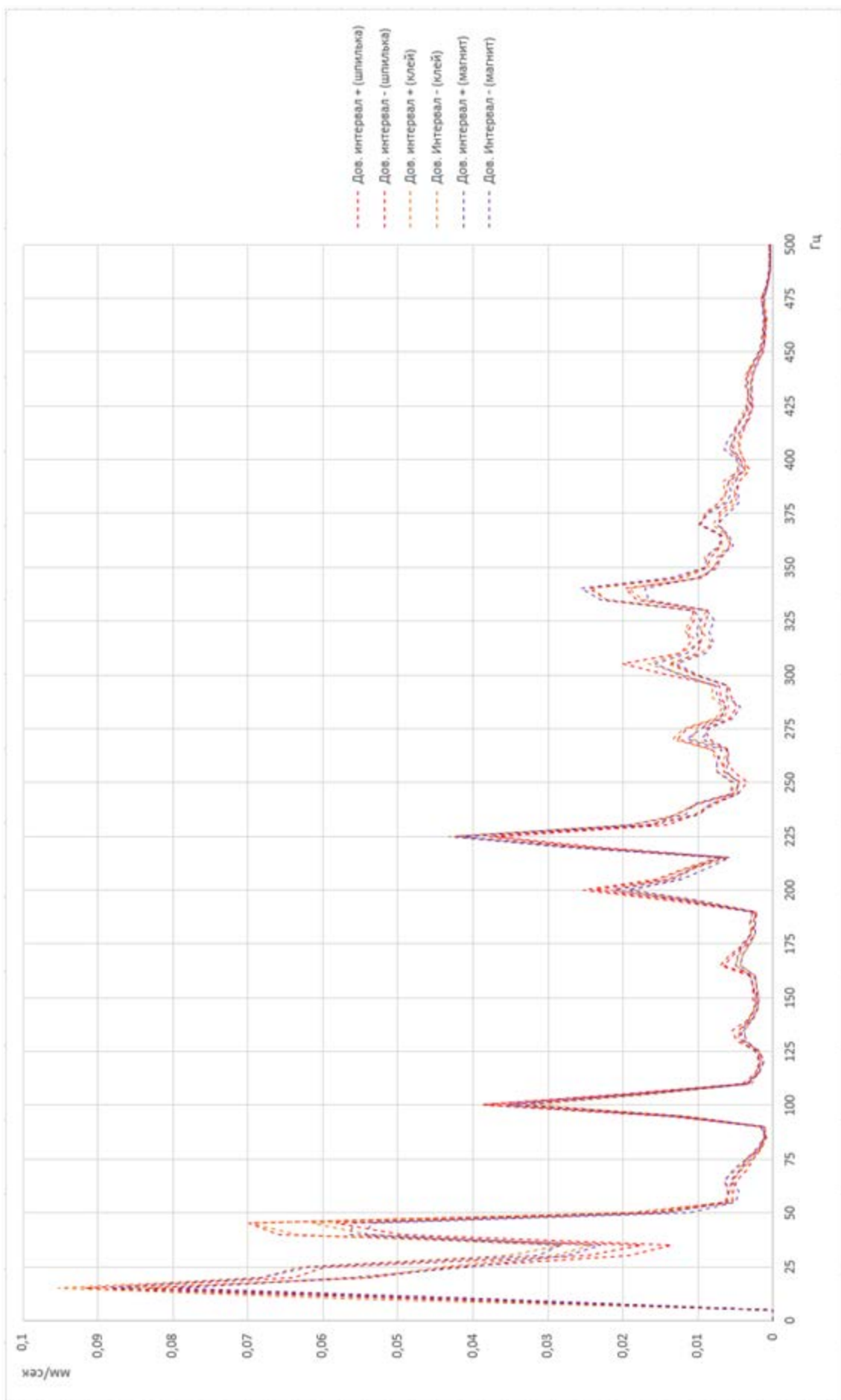


Рисунок 1.30 – Спектры сигнала по оси Z (точка №1)

Крепление вибропреобразователя в измерительной точке №2

Статический режим нагружения:

$$F(t) = 250 \text{ Н}$$

$$\omega_{21}(t) = 500 \text{ об/мин}$$

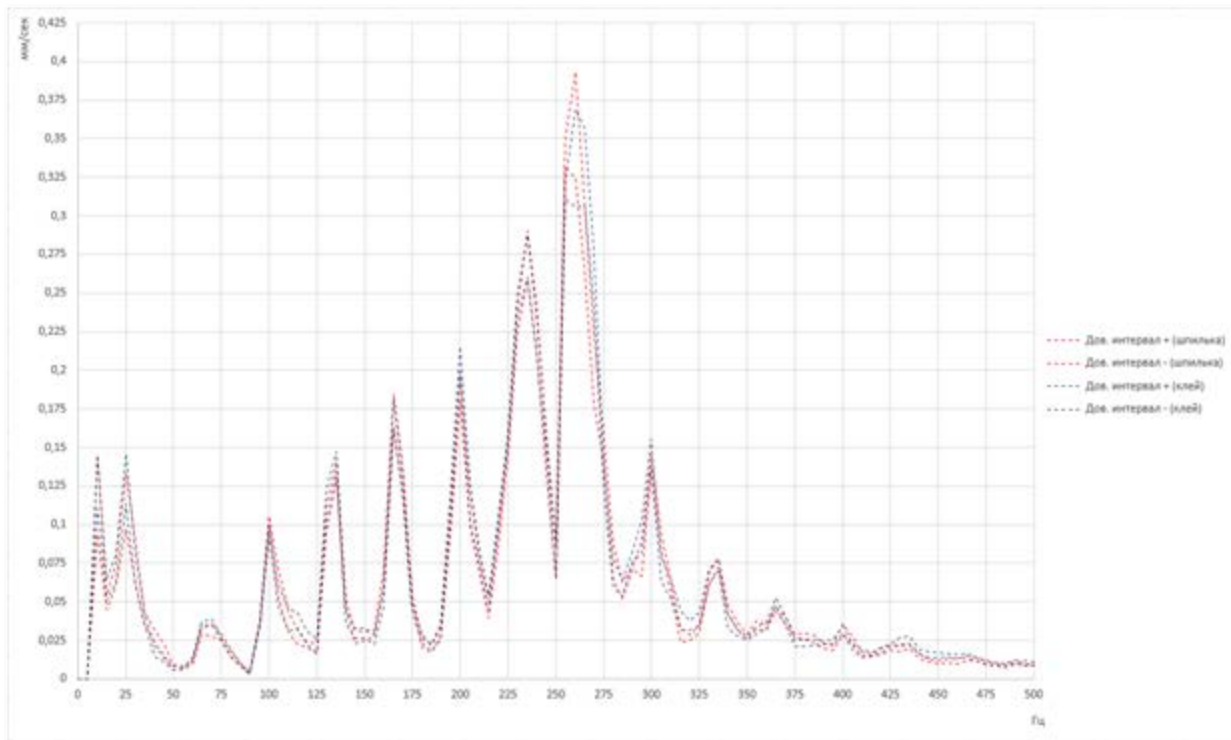


Рисунок 1.31 – Спектр сигнала по оси X (точка №2)

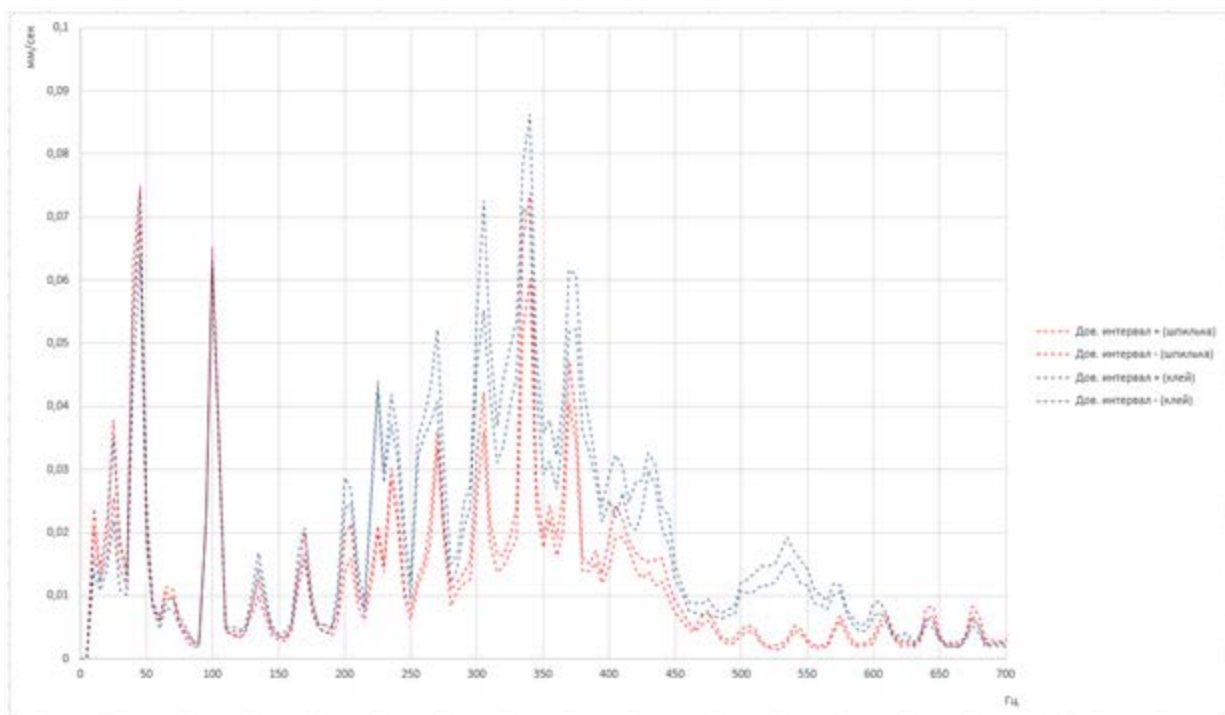


Рисунок 1.32 – Спектр сигнала по оси Y (точка №2)

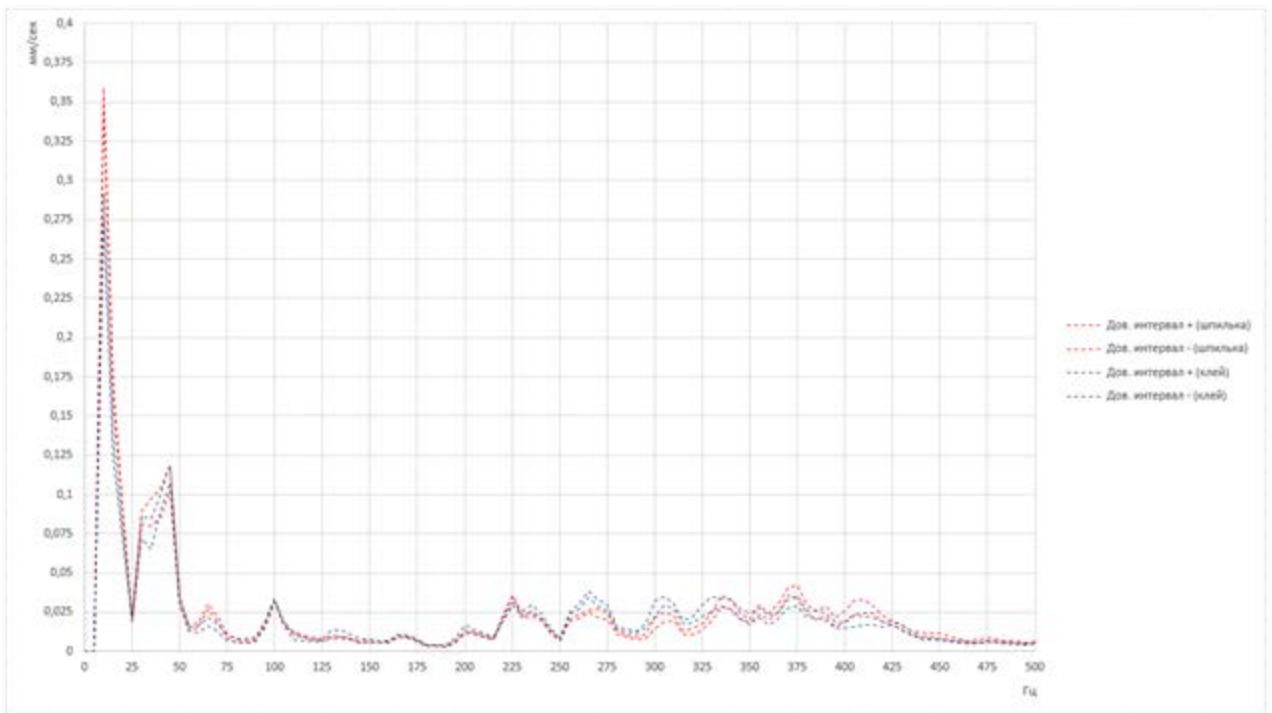


Рисунок 1.33 – Спектр сигнала по оси Z (точка №2)

Крепление вибропреобразователя в измерительной точке №3

Статический режим нагружения:

$$F(t) = 250 \text{ Н}$$

$$\omega_{21}(t) = 500 \text{ об/мин}$$

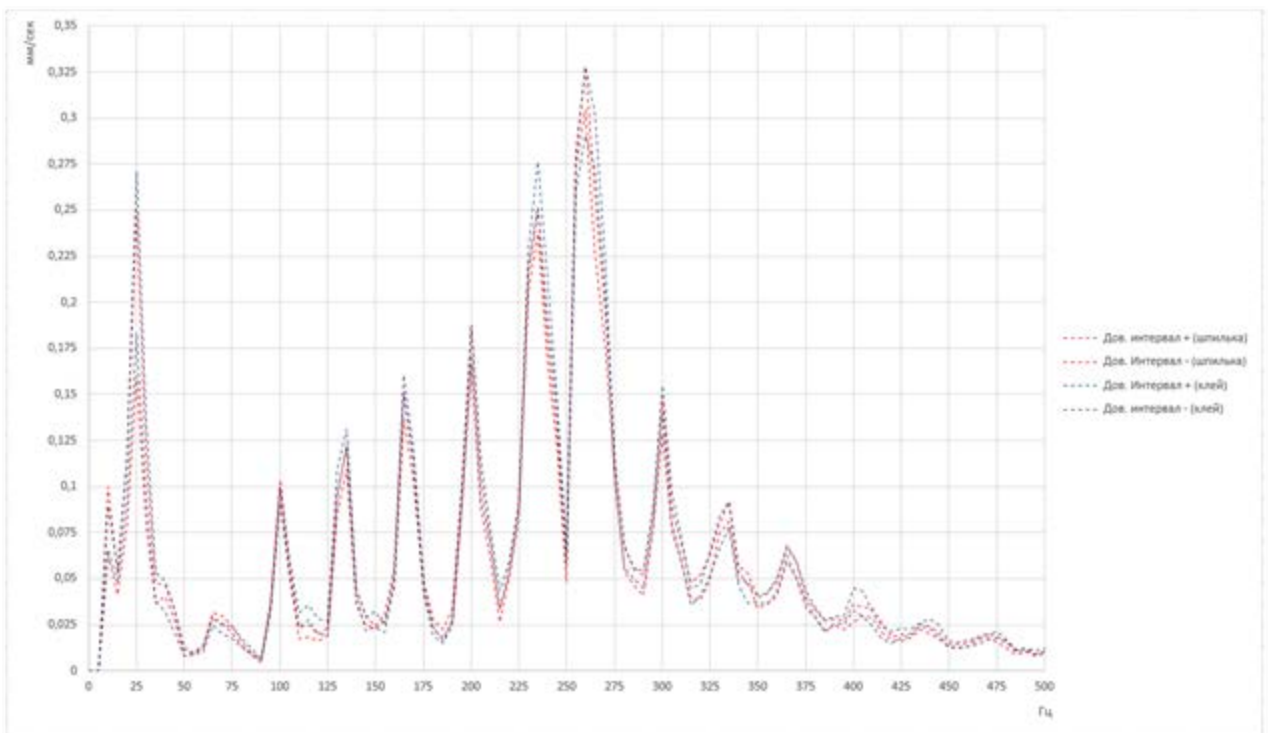


Рисунок 1.34 – Спектр сигнала по оси X (точка №3)

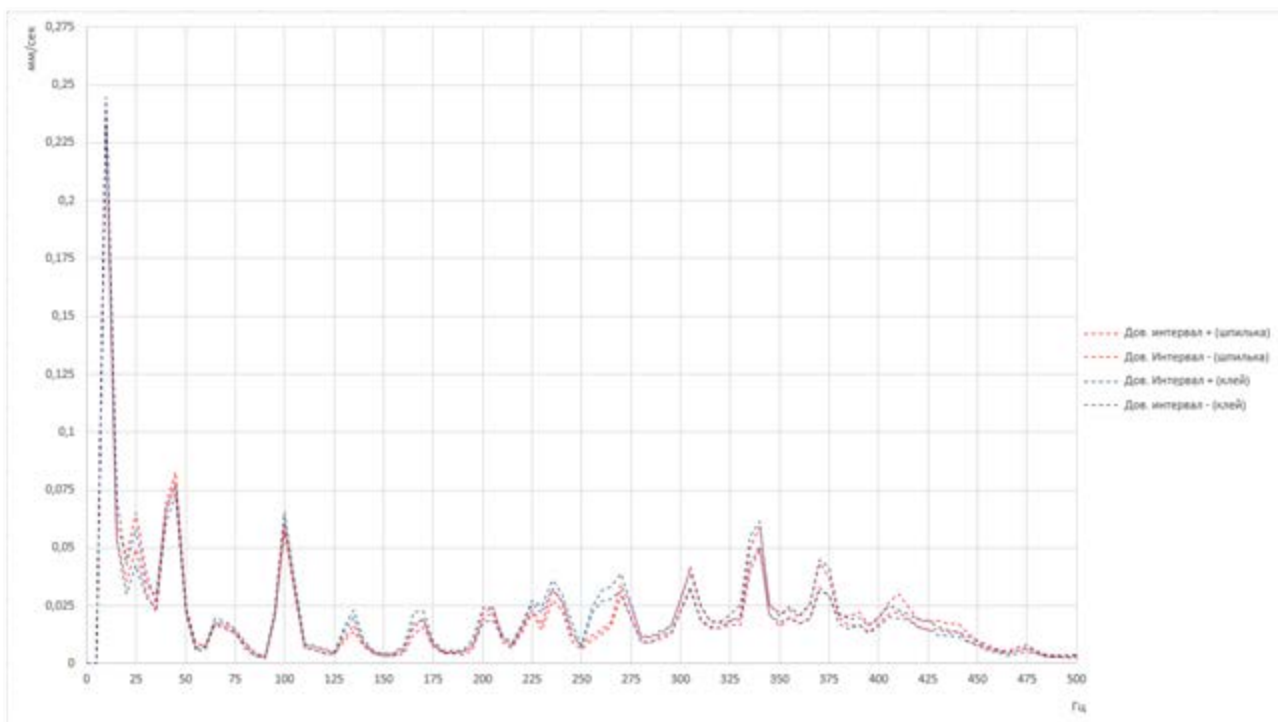


Рисунок 1.35 – Спектр сигнала по оси Y (точка №3)

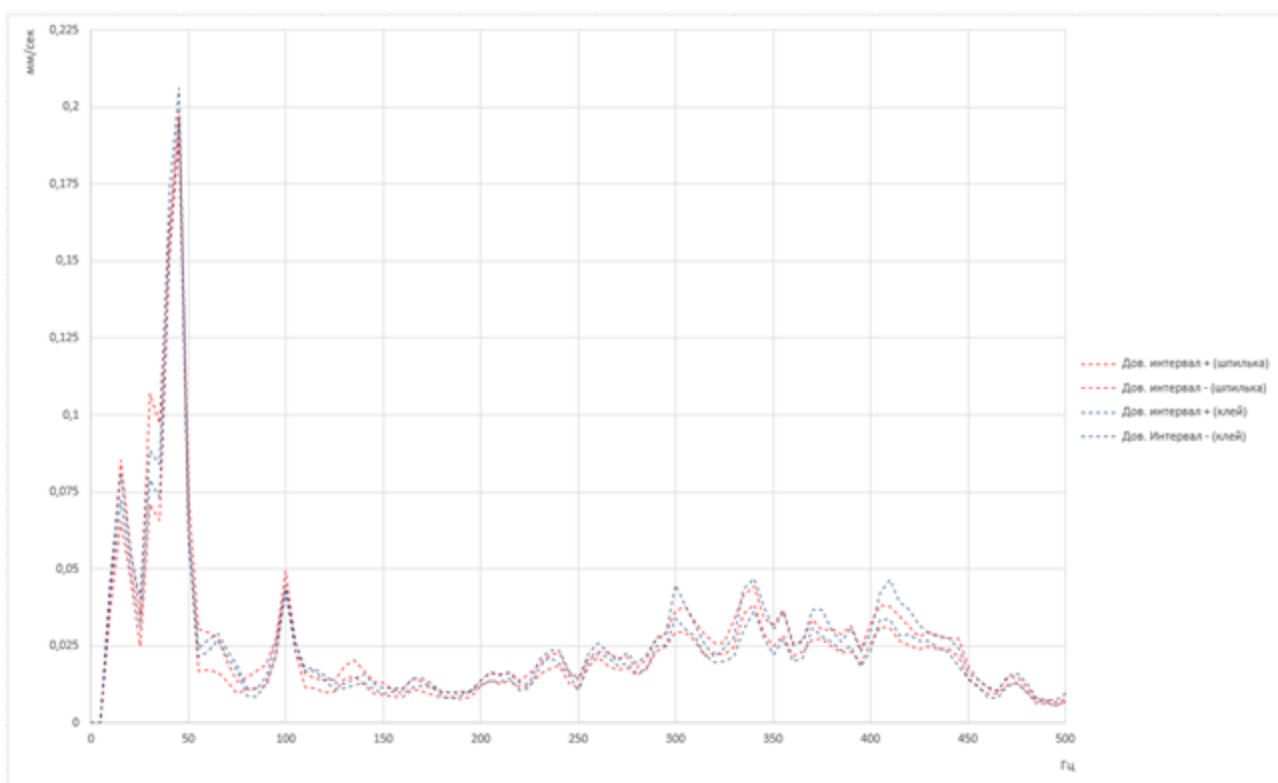


Рисунок 1.36 – Спектр сигнала по оси Z (точка №3)

Установка вибропреобразователя на магнит в точка №2 и №3 невозможна, в силу парамагнетических свойств поверхностей выбранных для проведения вибрационной диагностики.

На основании графиков полученных экспериментальным способом, можно утверждать, что качество снимаемого сигнала при различных способах закрепления вибропреобразователя равноценно. Это говорит о возможности применения наиболее удобного способа для той или иной ситуации и отсутствие необходимости нарушать целостность диагностируемого оборудования.

1.5 Исследование виброакустических сигналов

Исследование виброакустических сигналов будет заключаться в выявлении наиболее информативного канала вибропреобразователя с точки зрения изменения уровня вибрации при переходе от одного режима трения к другому с последующим определением принципа изменения вибрационного фона.

Настоящая методика предназначена для оценки антифрикционных, противоизносных и противозадирных свойств конструкционных и смазочных материалов, а также присадок к ним. Сущность методики заключается в постановке сравнительных лабораторных испытаний на *АК* по схеме трения “вал - колодки” по следующим показателям:

- *относительное изменение момента трения $\Delta M_{тр}$;*
- *критическая нагрузка $F_{кр}$, схватывания элементов пары трения;*
- *относительное изменение температуры поверхности в зоне трения ΔT_n ;*
- *относительное изменение теплоотводных свойств смазочной среды $\Delta T_{отв}$;*
- *относительное изменение линейного износа $\Delta L_{из}$ и суммарной потере массы элементов пары трения $\Delta m_{из}$;*

1.5.1 Статический режим нагружения

Поскольку большинство машин трения способны создавать только ступенчато изменяющуюся нормальную нагрузку F_N на пару трения при постоянной скорости скольжения $v_{ск}$, то практически все методики описывают именно этот режим. Часть, описываемой в настоящей работе, методики

совпадает с известными. Однако имеются некоторые отличия, которые рассмотрены ниже.

Сущность методики статических испытаний заключается в том, что основные триботехнические свойства конструкционных материалов и смазочных сред определяются за один цикл испытания. То есть, полный цикл содержит в себе три стадии испытаний (*антифрикционную, противоизносную и противозадирную*) с непрерывным переходом с одной стадии на другую. Осуществление непрерывного перехода с одной стадии испытаний на другую стало возможным благодаря возможностям АК. В этом заключается первое основное отличие рассматриваемой методики от традиционных методик.

На рис. 1.37 представлены два цикла испытания конструкционных и смазочных материалов, а также присадок к ним в статическом режиме.

Первый режим характеризуется ступенчатым изменением либо нагрузки F_N на пару трения, либо скорости скольжения $v_{ск}$, либо одновременно обоих указанных управляемых АК параметров на антифрикционной и противозадирной стадиях испытания. Из написанного следует, что вторым основным отличием данной методики является способность АК изменять одновременно оба управляемых параметра. На противоизносной стадии испытания управляемые параметры остаются постоянными во времени. Вторым режимом статического испытания заключается в непрерывном изменении по линейному закону управляемых параметров на антифрикционной и противозадирной стадиях.

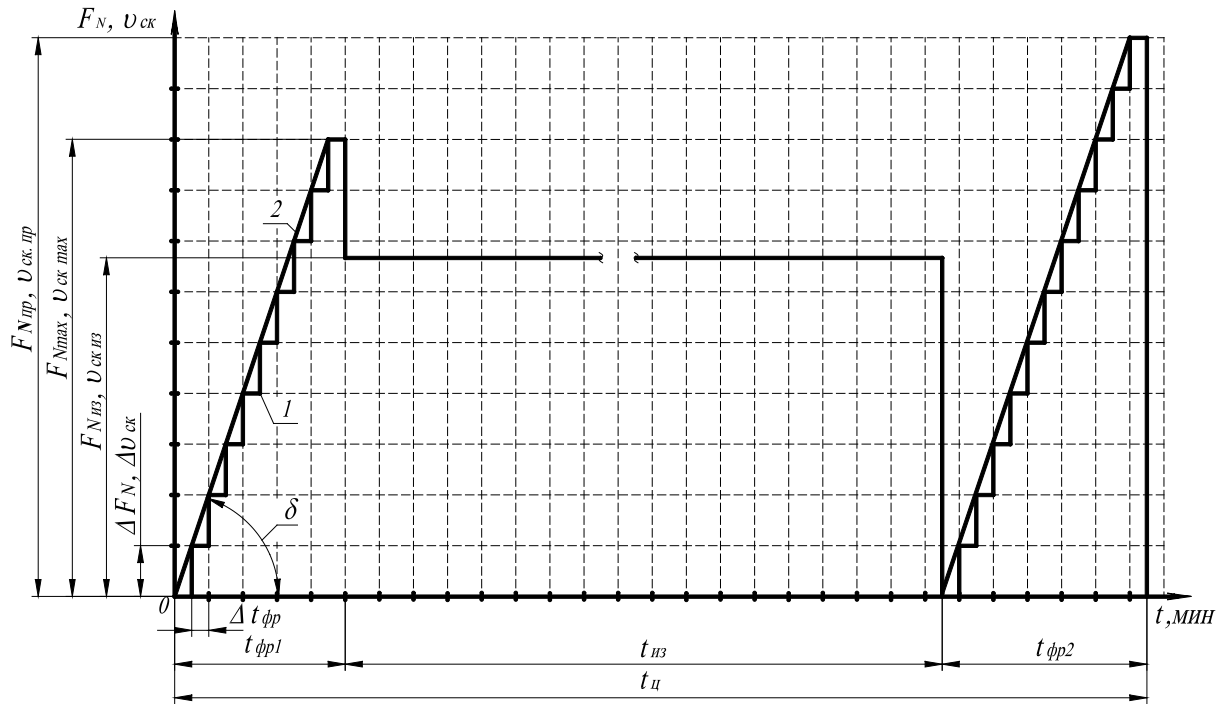


Рисунок 1.37 – Циклы статических режимов испытаний

1 – ступенчатый закон нагружение; 2 – линейный закон нагружения.

Первая (антифрикционная) стадия при ступенчатом изменении управляемых параметров характеризуется величиной приращения управляемых параметров ($\Delta F_N, \Delta v_{ск}$), действующего на протяжении времени $\Delta t_{фр1}$. Количество ступеней изменения управляемых параметров z_c определяется величиной максимальной величиной управляемых параметров ($F_{Nmax}, v_{ск max}$) по следующей формуле

$$z_c = \frac{F_{Nmax}}{t_{фр1}} = \frac{v_{ск max}}{t_{фр1}}, \quad (1.7)$$

При непрерывно изменяющихся по линейному закону управляемых параметрах определяющим является угол приращения δ , характеризующий интенсивность приращения их величины, и определяемый в виде

$$\delta = \arctg \left(\frac{F_{Nmax}}{t_{фр1}} \right), \quad (1.8)$$

Вторая (противоизносная) стадия характеризуется постоянной величиной управляемых параметров ($F_{Nиз}, v_{ск из}$) действующей на протяжении времени $t_{из}$.

Третья (противозадирная) – является увеличенной антифрикционной стадией, характеризующейся предельной величиной управляемых параметров (F_{Nnp} , $v_{ск np}$), соответствующих режиму схватывания элементов пары трения.

Ступенчатое изменение управляемых параметров позволяет проследить изменение регистрируемых на **АК** параметров и возможность пары трения приспособляться к изменяющимся условиям работы на каждой ступени за время $\Delta t_{фр}$. В свою очередь непрерывное изменение управляемых параметров позволяет проследить изменение регистрируемых на **АК** параметров исключая возможность приспособления пары трения к изменяющимся условиям работы. Противозадирная стадия испытания позволяет не только определить предельные значения управляемых параметров (F_{Nnp} , $v_{ск np}$), но и произвести сравнительную оценку антифрикционных свойств до противоизносной стадии и после нее.

Методика проведения статических испытаний для получения большей точности и надежности предусматривает следующую последовательность испытаний двух одинаковых пар трения с коэффициентом взаимного перекрытия $K_{вз}=0..0,5$. Перед началом испытаний производят приработку элементов пары трения при помощи притирочного порошка различной зернистостью (в зависимости от требуемой начальной шероховатости образцов трения). После этого образцы подвергались трению на режимах, исключающих появление заметных структурных изменений в поверхностных слоях конструкционных материалов в течение одного часа. Затем температуру смазочной среды выводят на уровень, который будет поддерживаться стабильным в течение всего цикла испытания. После этого, на **АК** формируют цикл испытания, задавая определяющие параметры для каждой стадии испытания, при этом необходимо учесть следующее:

- *величина управляемых параметров (F_{Nmax} , $v_{ск max}$) на антифрикционной стадии должна составлять 85% от ориентировочно определенных предельных значений управляемых параметров (F_{Nnp} , $v_{ск np}$), для чего необходимо подготовленную пару трения протестировать на АК по*

противозадирной стадии будущей серии испытаний;

- *величина управляемых параметров ($F_{N_{из}}$, $v_{ск\ из}$) на противоизносной стадии испытания должна составлять 70% от максимальной величины этих параметров ($F_{N_{max}}$, $v_{ск\ max}$) на антифрикционной стадии;*
- *длительность антифрикционной стадии $t_{фр1}$ должна составлять не более 5% от длительности противоизносной стадии $t_{из}$;*
- *длительность противозадирной стадии $t_{фр2}$ заранее не известна и назначается исследователем такой, чтобы ее хватило для достижения схватывания элементов пары трения.*

Далее начинают испытание на выбранной паре трения. После испытания образцы охлаждаются, обезжириваются и производят измерение износа весовым способом. Затем устанавливают следующую пару трения, процесс повторяется.

1.5.2 Динамический режим нагружения

Сущность методики динамических испытаний идентична методике статических испытаний, описанной выше. Разница состоит лишь в законе изменения управляемых параметров *АК*. Это объясняет третье основное отличие рассматриваемой методики испытаний.

Данная методика динамических испытаний предусматривает два вида режимов испытаний, отличающихся друг от друга, как было указано выше, законом изменения управляемых параметров.

В первом виде динамических испытаний предусматривается использование широко известных в теории законов нагружения.

На рис. 1.38 представлен первый вид динамического режима испытаний с использованием синусоидальной функции.

Во втором виде динамических испытаний предусматривается реализация условий максимально приближенных к реальным условиям функционирования узлов трения машин и механизмов.

На рис. 1.39 представлен второй вид динамического режима испытаний, имитирующего условия работы пары трения “коленчатый вал – коренной вкладыш” двигателя внутреннего сгорания.

Основной величиной, характеризующей протекание динамического режима испытаний, является частота изменения управляемых параметров ($F_N, v_{ск}$), которая определяется по следующей формуле

$$\chi_{F_N, v_{ск}} = \frac{1}{t_n}, \quad (1.9)$$

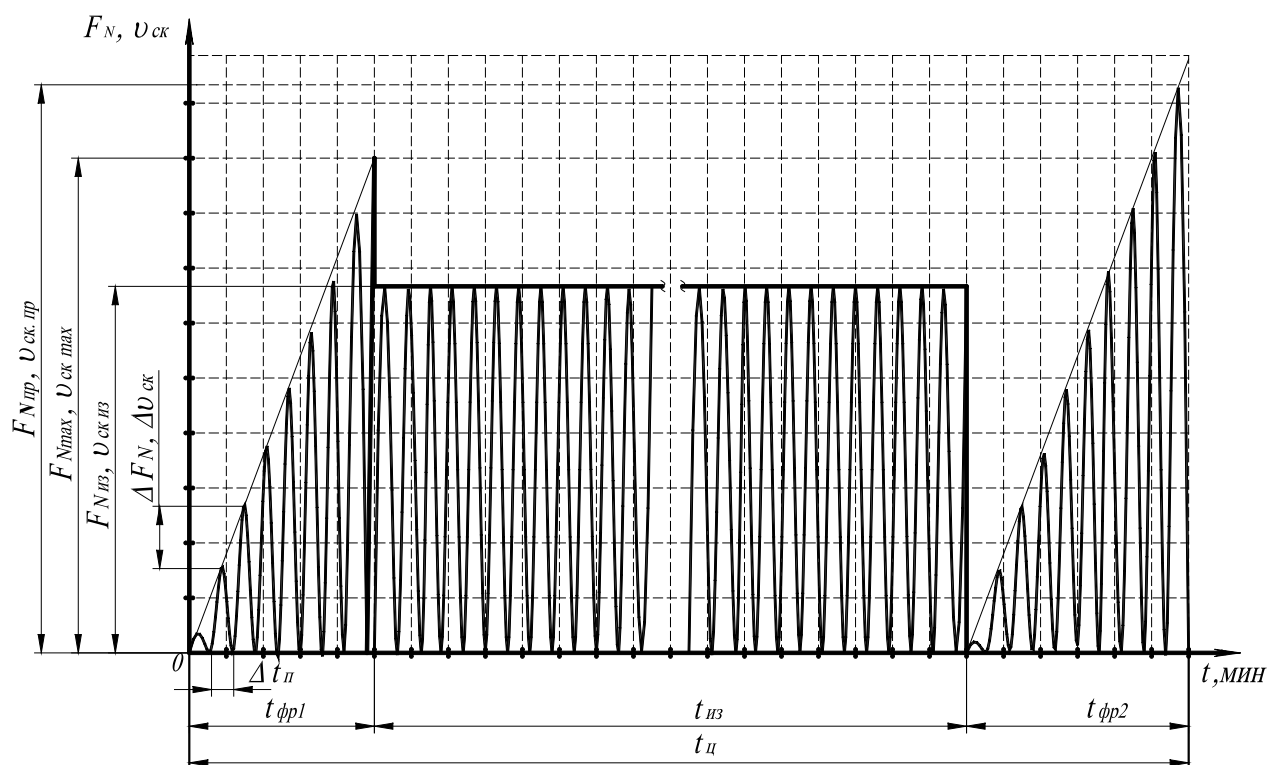


Рисунок 1.38 – Цикл динамического режима испытаний с использованием синусоидальной функции

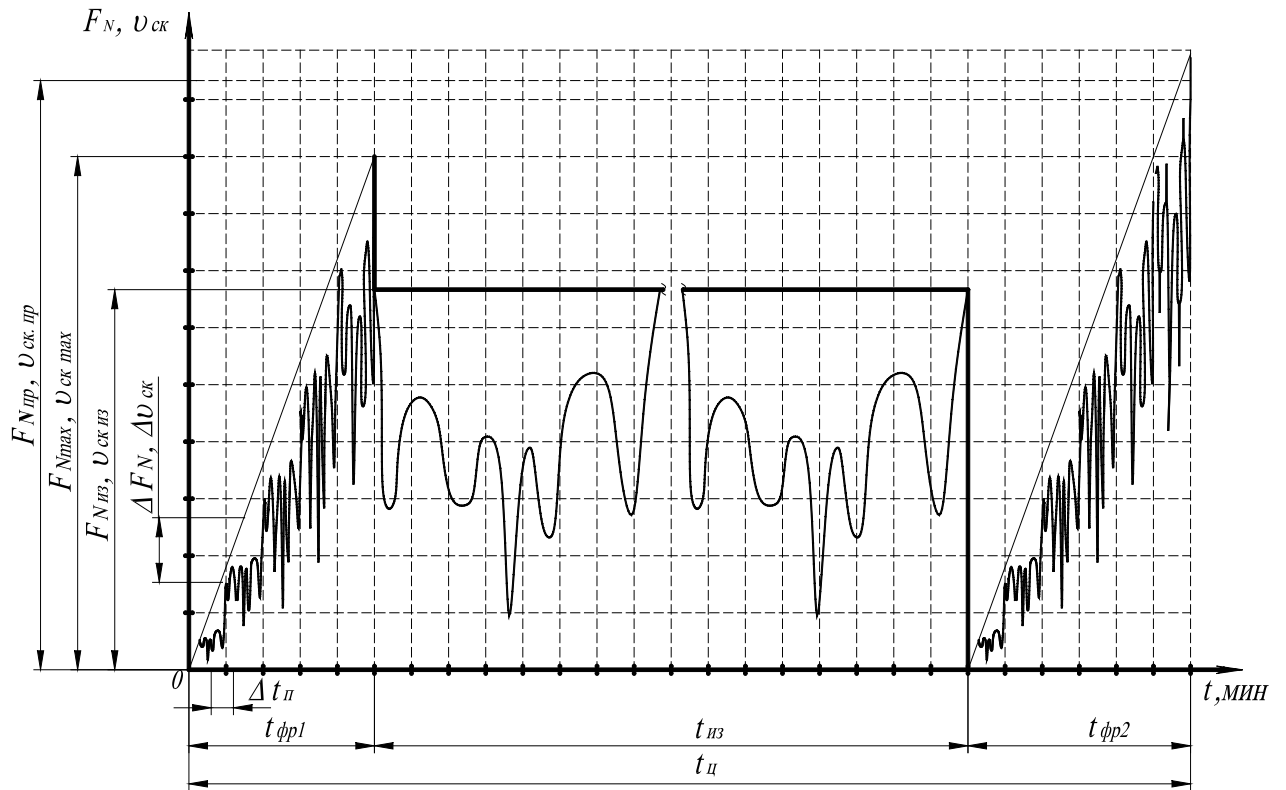


Рисунок 1.39 – Цикл динамического режима испытаний имитирующий условия работы пары трения “коленчатый вал – коренной вкладыш” двигателя внутреннего сгорания

Первая (антифрикционная) стадия при динамическом изменении управляемых параметров характеризуется величиной приращения управляемых параметров ($\Delta F_N, \Delta v_{ск}$) за один период, длительностью t_n . Количество периодов изменения управляемых параметров z_{δ} определяется максимальной величиной управляемых параметров ($F_{Nmax}, v_{скmax}$) по следующей формуле

$$z_{\delta} = \frac{F_{Nmax}}{t_n} = \frac{v_{скmax}}{t_n}, \quad (1.10)$$

Две остальные стадии аналогичны стадиям, описанным выше в методике статических испытаний.

Динамическое изменение управляемых параметров позволяет проследить динамику изменения регистрируемых на **АК** параметров и возможность пары трения приспособливаться к изменяющимся условиям работы в течение каждого рабочего периода Δt_n . Кроме того, динамическое

изменение управляемых параметров по законам, максимально приближенным к реальным, позволяет судить о процессах, происходящих в узлах трения машин и механизмов.

Последовательность проведения динамических испытаний аналогична последовательности проведения статических испытаний.

Произведем статическое нагружение УСДН с параллельным съемом вибрационных показателей.

1) $\omega = 500$ об/мин; $F = 150$ Н.

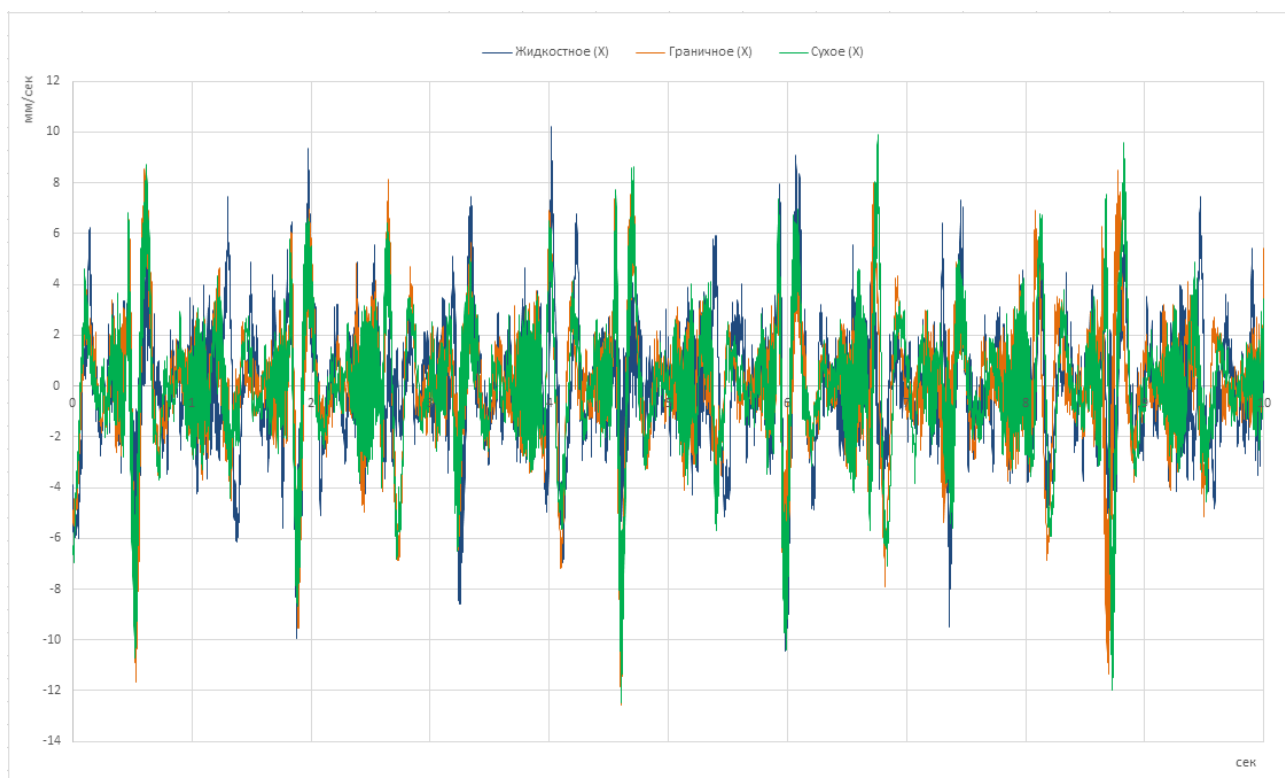


Рисунок 1.40 – Зависимость виброскорости от времени по оси X при различных режимах трения

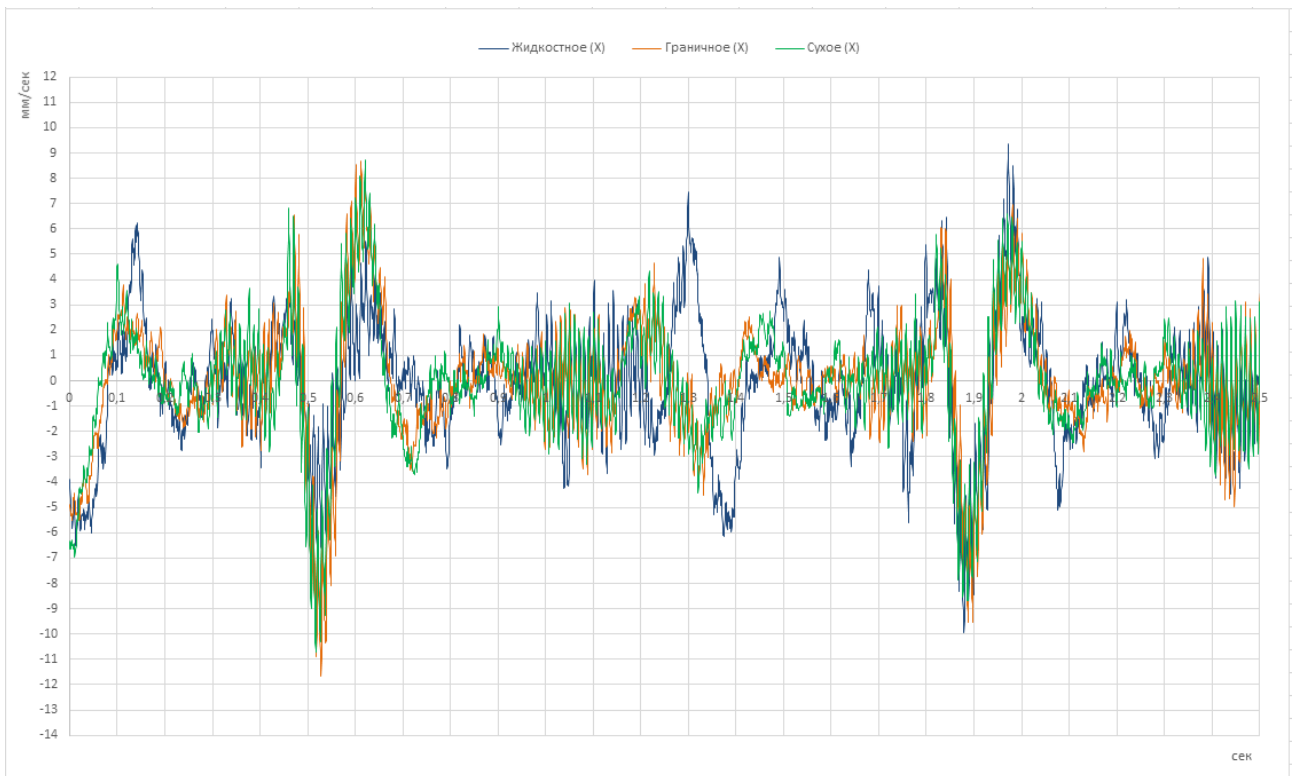


Рисунок 1.41 – Зависимость виброскорости от времени по оси X при различных режимах трения (увеличенное)

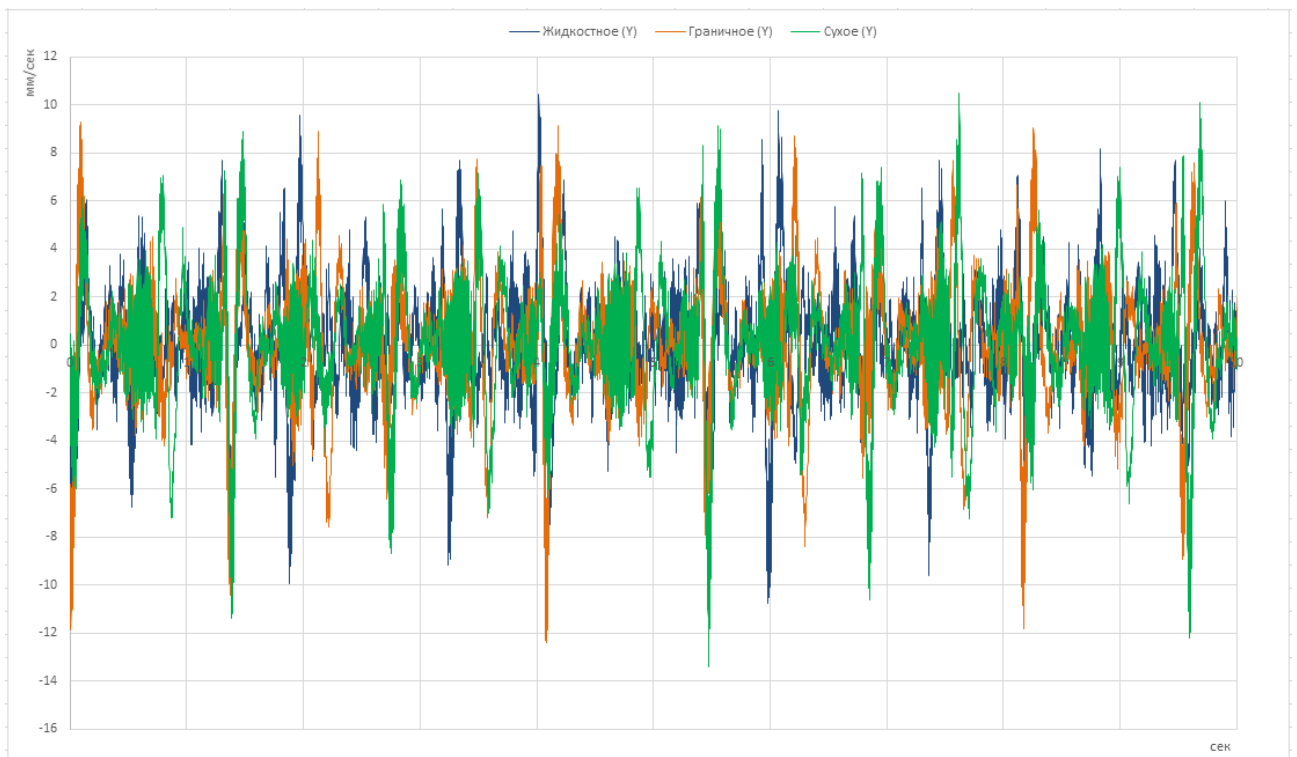


Рисунок 1.42 – Зависимость виброскорости от времени по оси Y при различных режимах трения

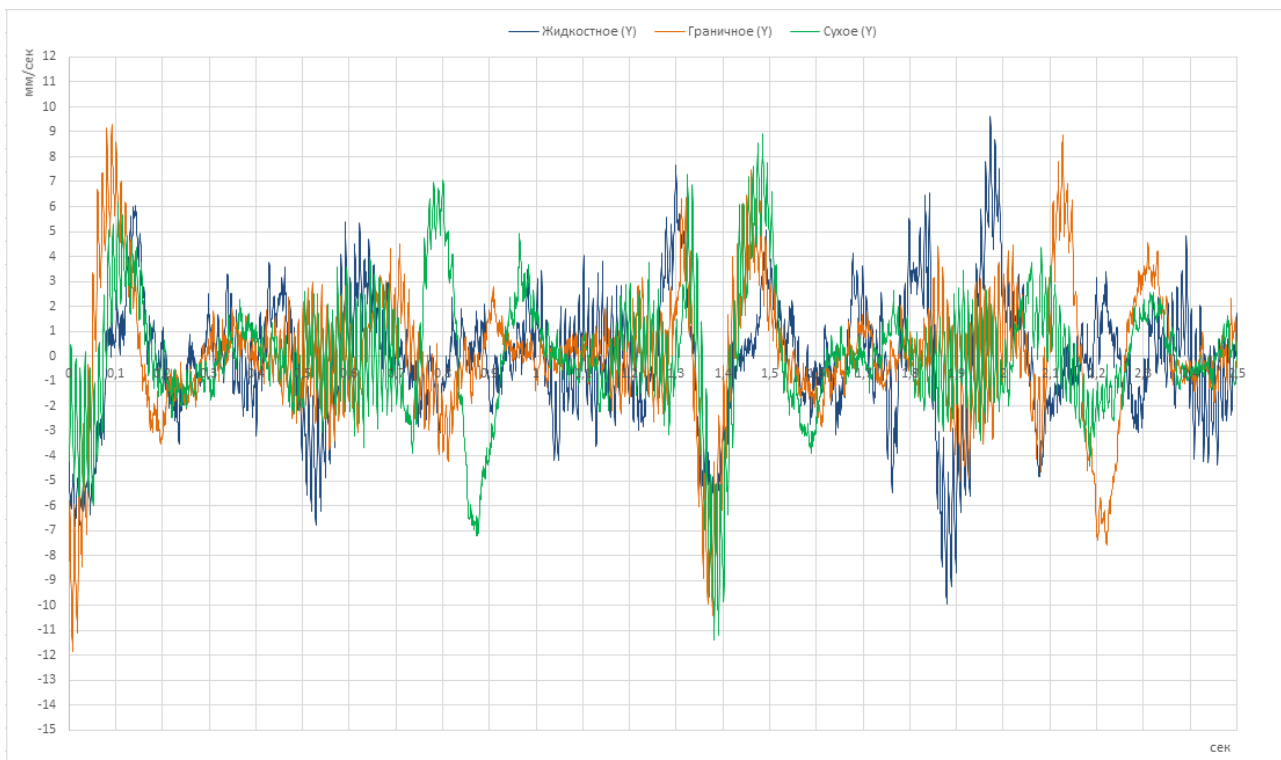


Рисунок 1.43 – Зависимость виброскорости от времени по оси Y при различных режимах трения (увеличенное)

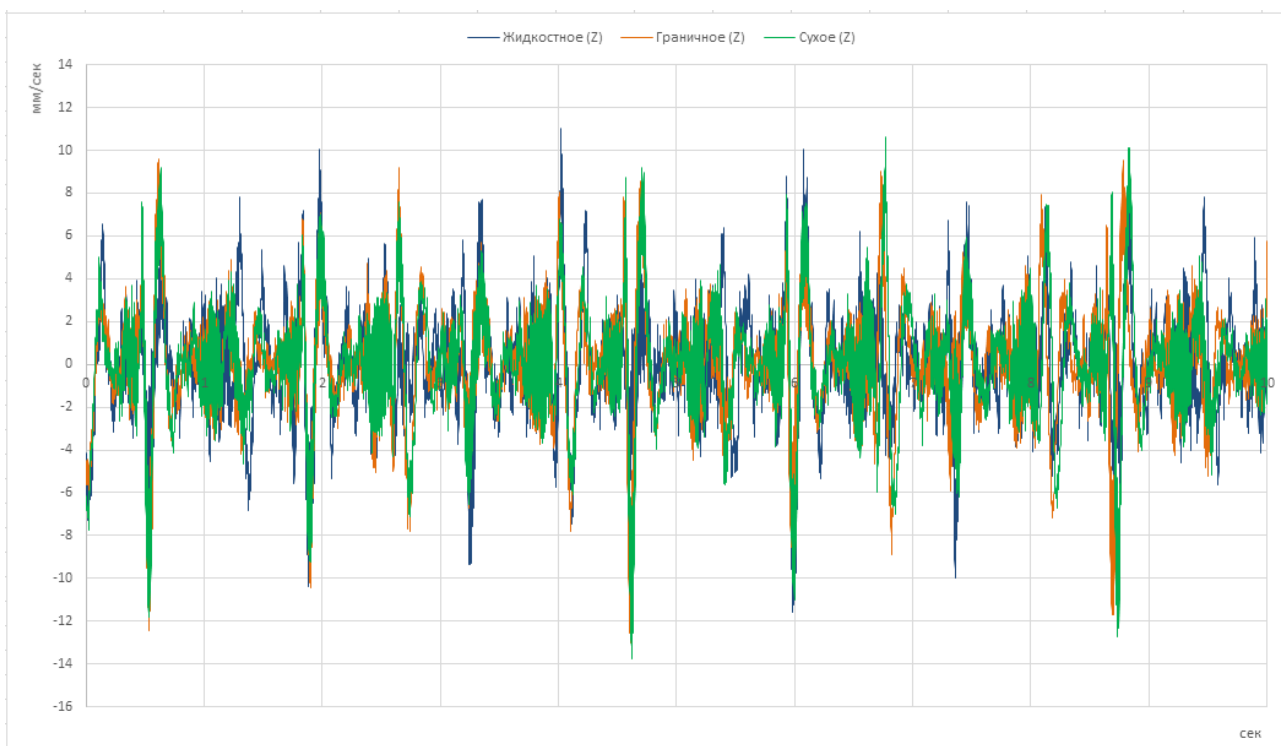


Рисунок 1.44 – Зависимость виброскорости от времени по оси Z при различных режимах трения

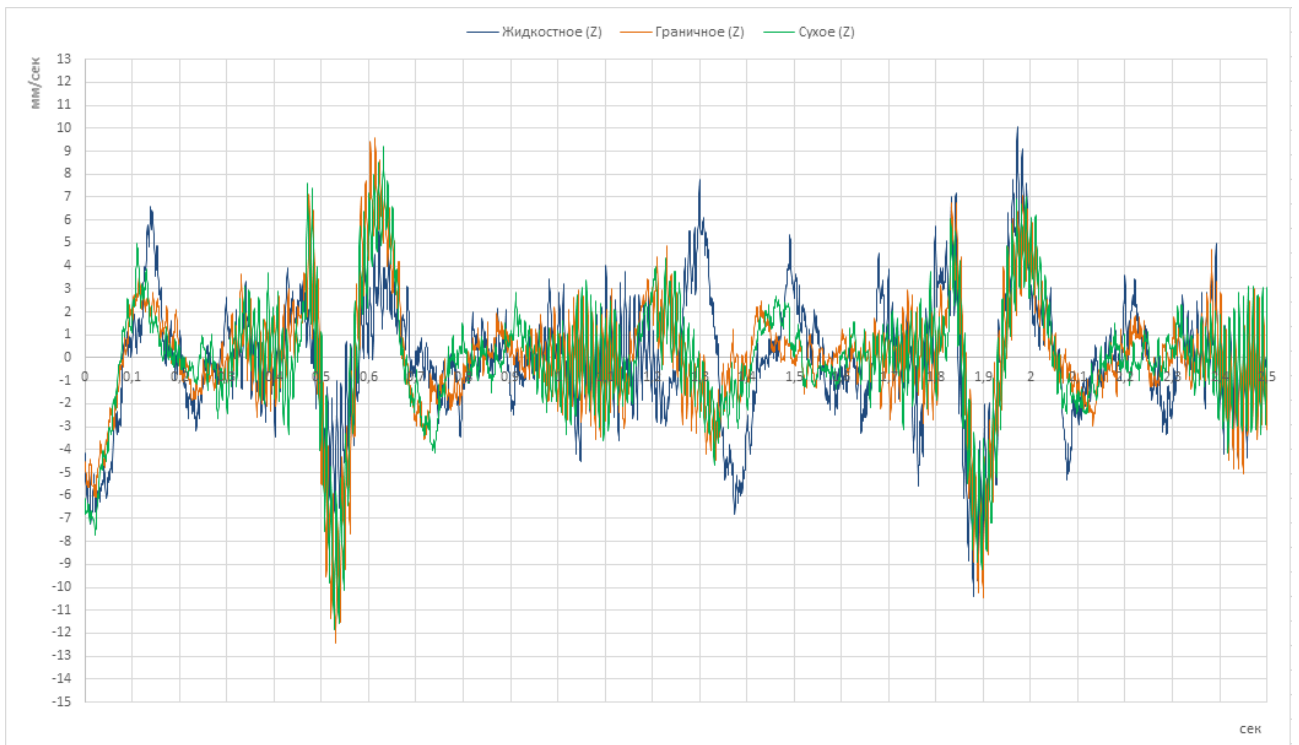


Рисунок 1.45 – Зависимость виброскорости от времени по оси Z при различных режимах трения (увеличенное)

2) $\omega = 500$ об/мин; $F = 200$ Н.

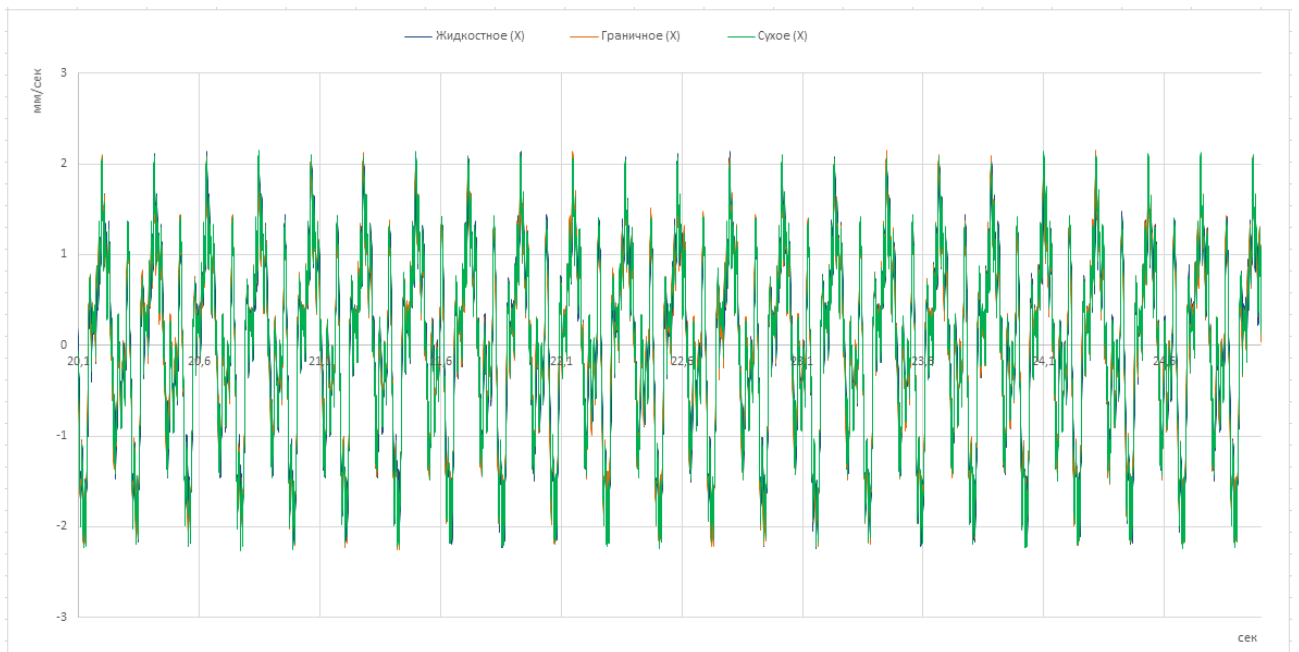


Рисунок 1.46 – Зависимость виброскорости от времени по оси X при различных режимах трения

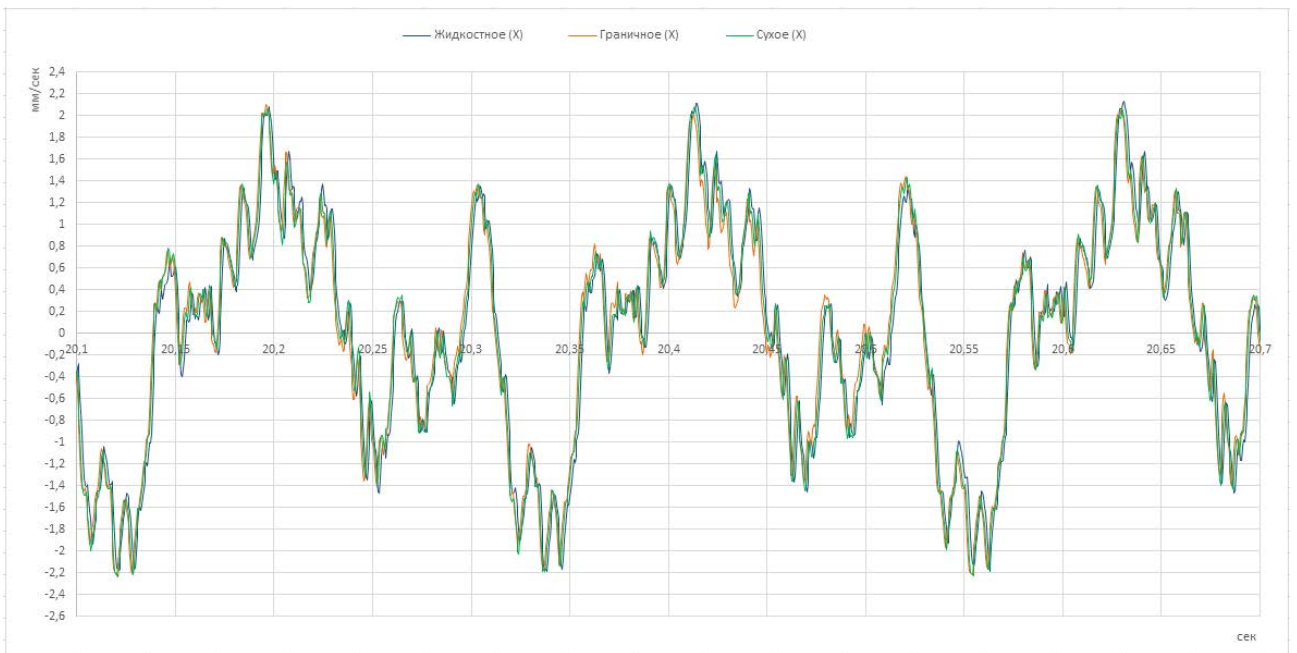


Рисунок 1.47 – Зависимость виброскорости от времени по оси X при различных режимах трения (увеличенное)

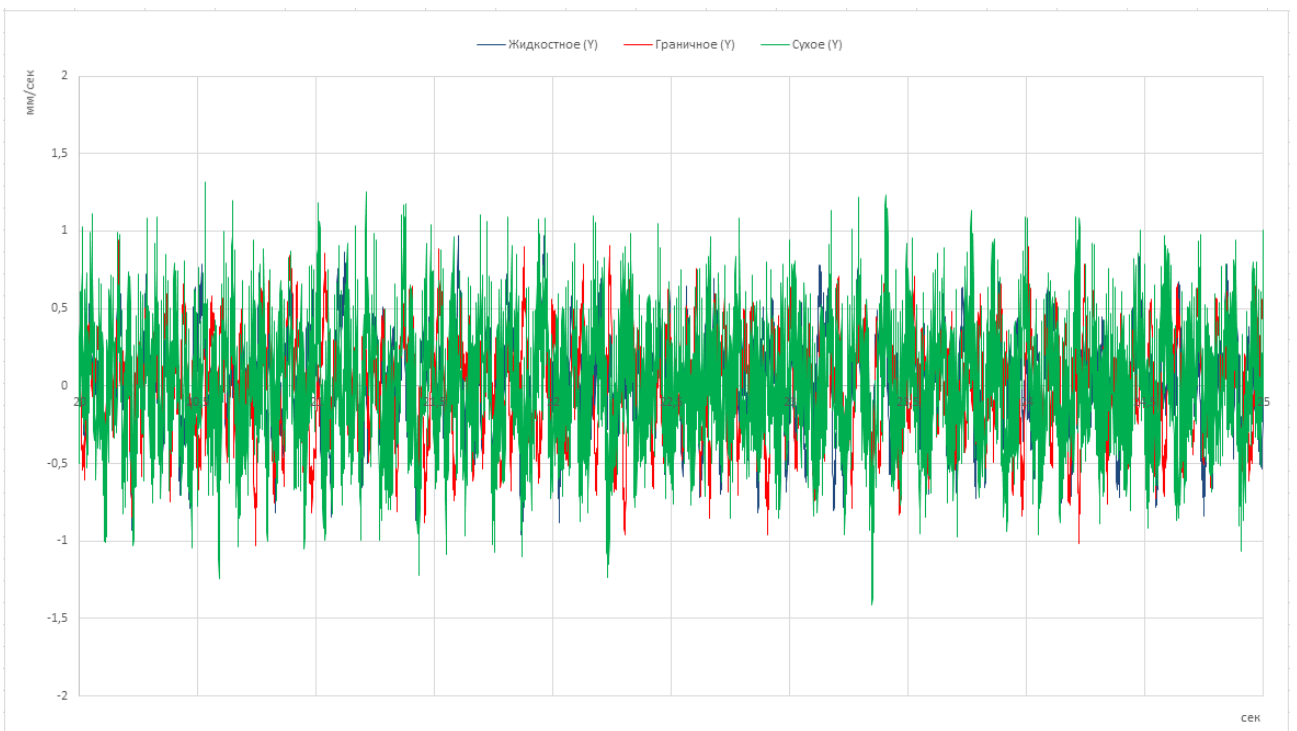


Рисунок 1.48 – Зависимость виброскорости от времени по оси Y при различных режимах трения

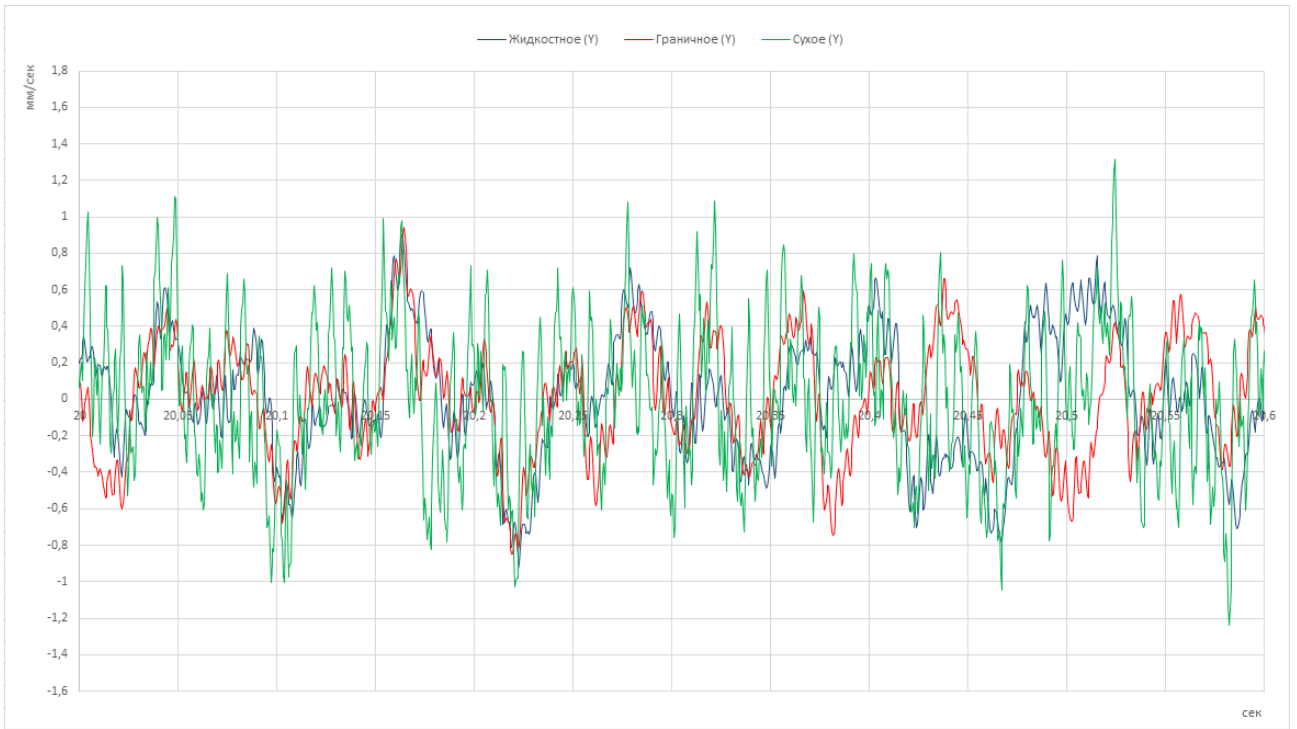


Рисунок 1.49 – Зависимость виброскорости от времени по оси Y при различных режимах трения (увеличенное)

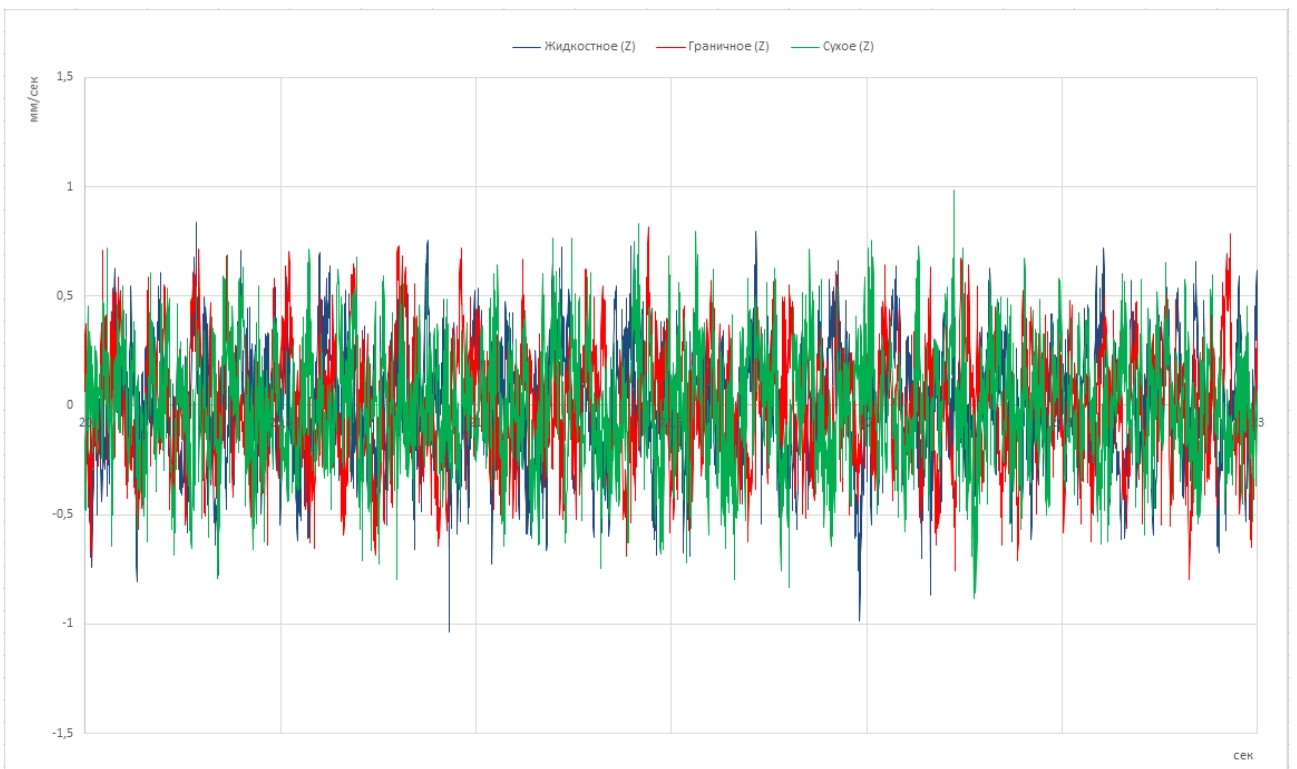


Рисунок 1.50 – Зависимость виброскорости от времени по оси Z при различных режимах трения

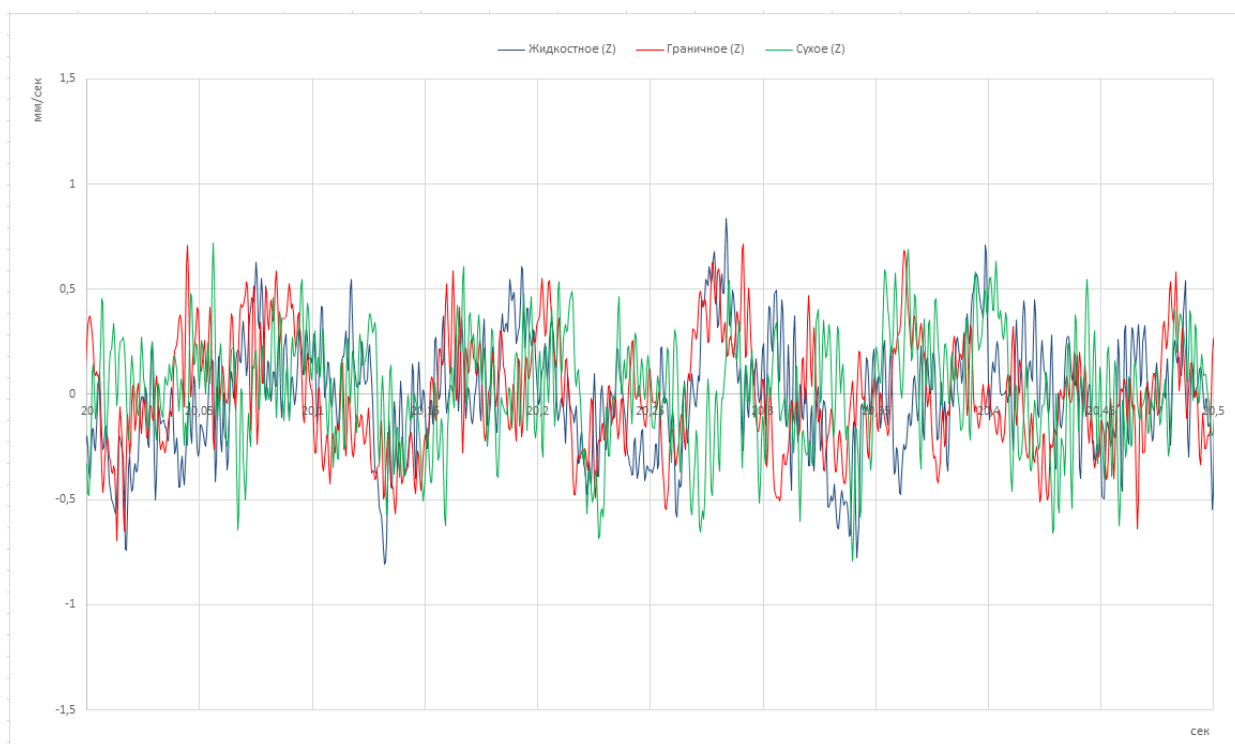


Рисунок 1.51 – Зависимость виброскорости от времени по оси Z при различных режимах трения (увеличенное)

На основании проведенных исследований, можно утверждать, что наиболее информативным каналом для определения режима трения при различных режимах нагружения является канал, обеспечивающий съем вибрационных данных по оси Y. Это обусловлено принципом возникновения вибрационной составляющей, заключающемся в периодическом скручивании упругого элемента в процессе работы УСДН. Т.е. чем выше коэффициент трения, возникающий в паре трения «вал – колодки» (контртело – колодки), тем выше крутящий момент который необходима приложить для обеспечения воссоздания «реального» закона нагружения, применяемого технологических системах, с ростом которого и происходит рост скорости смещения (виброскорости) исполнительного органа по оси Y.

3) $\omega = \text{var}$; F = 150 Н.

Для определения влияния динамического нагружения на вибрационный фон узла трения, съем вибрационных показателей производился с интервалом в 30 мин. За начало отсчета принято состояние механизма – «Начало работы».

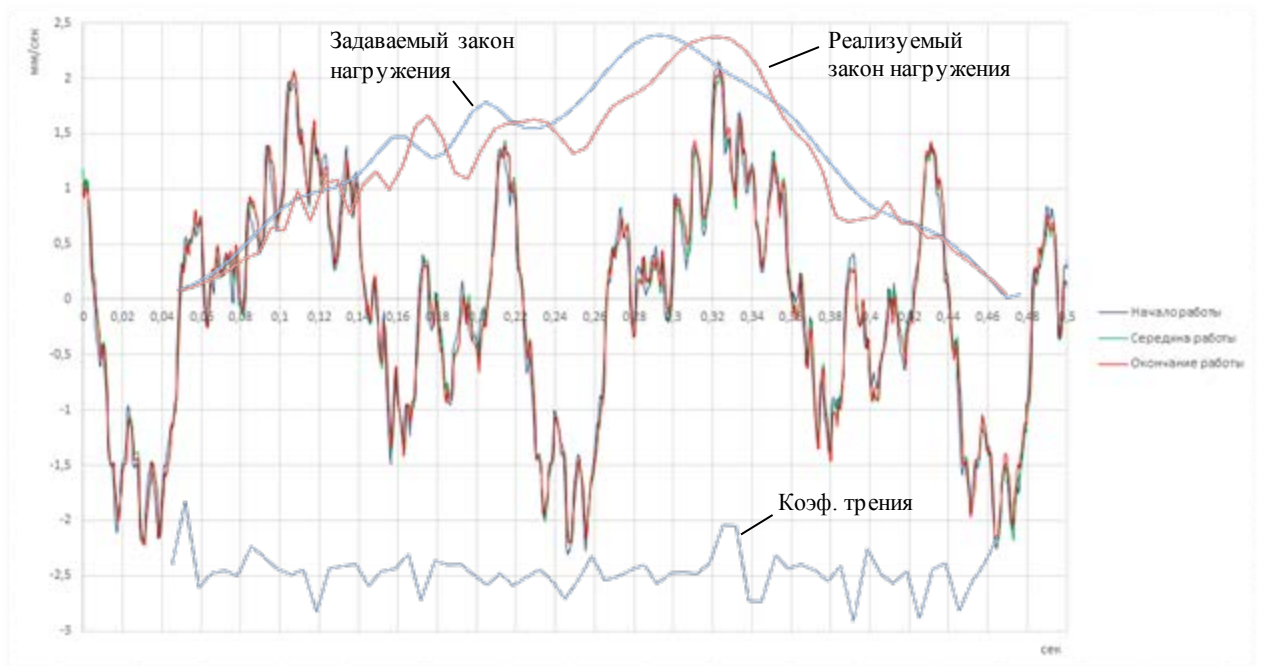


Рисунок 1.52 – Зависимость виброскорости от времени по оси X при динамическом законе нагружения

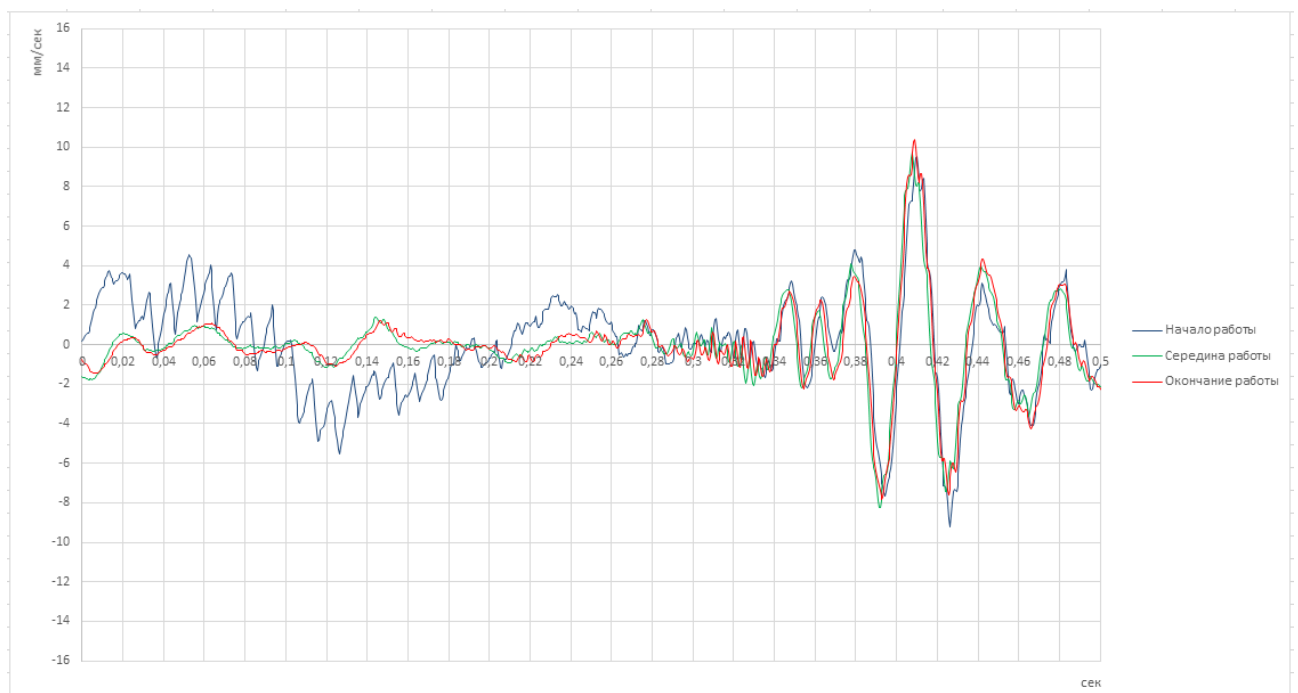


Рисунок 1.53 – Зависимость виброскорости от времени по оси Y при динамическом законе нагружения

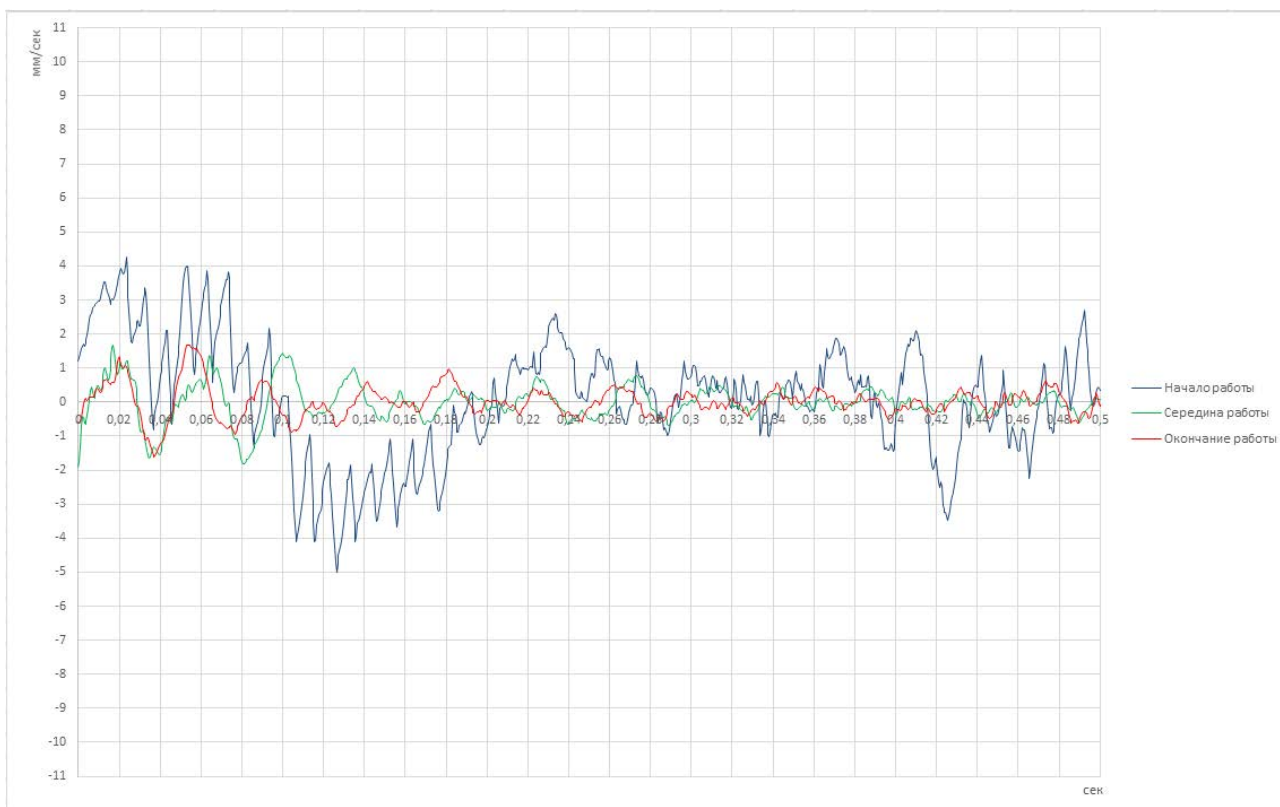


Рисунок 1.54 – Зависимость виброскорости от времени по оси Z при динамическом законе нагружения

На основании графиков отражающих зависимость виброскорости от времени по осям Y и Z (рис. 1.53 и 1.54) можно утверждать, что с течением времени в работающем механизме (паре трения) происходит процесс приработки, характеризующийся уменьшением коэффициента трения и как следствие снижением вибрационного фона.

Не смотря на большую значимость установления величины коэффициента трения в точках контакта трущихся элементов механизма (узлов трения), в целях прогнозирования долговечности его функционирования, этого может быть не достаточно для отображения реального состояния механизма.

Как видно из рис.1.52, при наложении на одну временную ось графиков закона нагружения, коэффициента трения и виброскорости, при резкой перемене скоростного режима нагружения величина коэффициента трения претерпевает не значительные изменения, а порой и просто не успевает среагировать на изменившиеся условия, в то время как, вибрационный фон

мгновенно отражает возникновение опасных зон, характеризующих повышенную степень нагруженности механизма. Что в свою очередь сигнализирует о возможности изменения режима трения соприкасающихся элементов, в случае длительного нахождения узла трения в данном состоянии.

Результаты проведенного исследования

В результате проведенных исследований было установлено, что:

1. Качество снимаемого сигнала при различных способах закрепления вибропреобразователя равноценно;
2. Наиболее информативным каналом для определения режима трения при различных режимах нагружения является канал, обеспечивающий съем вибрационных данных по оси Y;
3. Коэффициент трения не способен в полной мере передавать реальное состояние механизма (узла трения).

2 Раздел финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Объектом экономического исследования в рамках написания ВКР является процесс выявления влияния динамических режимов нагружения на вибрационные характеристики узлов трения вращательного и возвратно-вращательного действия.

Цель написания раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» заключается в проведении планирования управления научно-техническим проектом, подразделяющимся на:

- Иерархическая структура работ проекта;
- Контрольные события проекта;
- План проекта;
- Бюджет проекта.

2.1 Иерархическая структура работ проекта

Написание данного параграфа проводится в целях структурирования и определения содержания всего перечня работ, предусмотренных научным исследованием, и последующим распределением исполнителей по установленным видам работ.

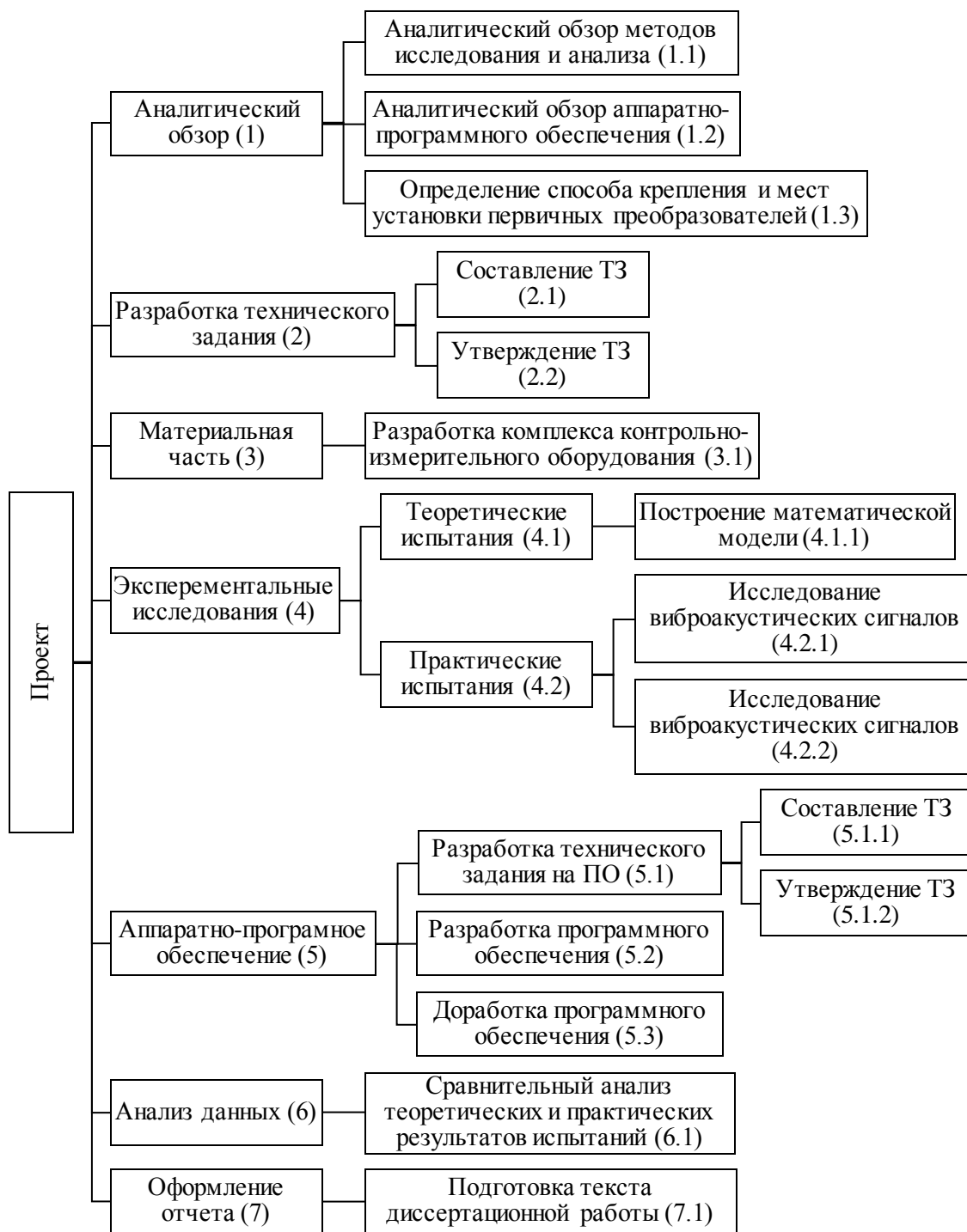


Рисунок 2.1 – Иерархическая структура работ проекта

2.2 Контрольные события проекта

Данный раздел отображает ключевые события проекта, их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты.

Таблица 2.1 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Аналитический обзор методов и аппаратно-программного обеспечения исследования и анализа виброакустических сигналов	31.10.2015	Раздел главы магистерской диссертации. Классификация законов нагружения
2	Разработка технического задания на выполнение научно-исследовательской работы	30.11.2015	Техническое задание к научно-исследовательской работе
3	Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования (ККИО) для исследования и анализа виброакустических сигналов	31.12.2015	Раздел главы магистерской диссертации. ККИО
4	Построение математической модели формирования виброакустических сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе	31.03.2016	Раздел главы магистерской диссертации
5	Разработка программного обеспечения для моделирования и анализа виброакустических сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе	31.05.2016	Раздел главы магистерской диссертации. Программное обеспечение
6	Определение способов крепления и мест установки первичных преобразователей	31.07.2016	Раздел главы магистерской диссертации
7	Исследование виброакустических сигналов при испытаниях трибосопряжения на различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе	31.10.2016	Раздел главы магистерской диссертации
8	Доработка программного обеспечения для моделирования и анализа виброакустических сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе	30.11.2016	Раздел главы магистерской диссертации. Программное обеспечение
9	Исследование виброакустических сигналов при испытаниях трибосопряжения на различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе	31.12.2016	Раздел главы магистерской диссертации
10	Сравнительный анализ теоретических и практических результатов испытаний	28.02.2017	Раздел главы магистерской диссертации
11	Подготовка текста диссертационной работы	30.05.2017	Диссертационная работа

2.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой график проекта.

В силу того, что ВКР, как правило, имеют сравнительно небольшой объем задач, наиболее простым и целесообразным способом построения календарного план-графика выполнения ВКР является диаграмма Ганта, представляющая собой столбчатую диаграмму (гистограмму).

Для удобства построения план-графика, на основании ИСР, производим составление календарного плана (табл.2.2).

Таблица 2.2 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1.1	Аналитический обзор методов исследования и анализа	30	01.09.2015	30.09.2015	Студент
1.2	Аналитический обзор аппаратно-программного обеспечения	31	01.10.2015	31.10.2015	Студент
2.1	Составление ТЗ	20	01.11.2015	20.11.2015	Студент
2.2	Утверждение ТЗ	10	21.11.2015	30.11.2015	Руководитель
3.1	Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования	31	01.12.2015	31.12.2015	Студент
4.1.1	Построение математической модели	82	10.01.2016	31.03.2016	Студент
5.1.1	Составление ТЗ на ПО	3	17.04.2016	19.04.2016	Студент
5.1.2	Утверждение ТЗ на ПО	2	20.04.2016	21.04.2016	Руководитель
5.2	Разработка программного обеспечения	40	22.04.2016	31.05.2016	Студент
1.3	Определение способа крепления и мест установки первичных преобразователей	31	01.07.2016	31.07.2016	Студент
4.2.1	Исследование виброакустических сигналов	61	01.09.2016	31.10.2016	Студент
5.3	Доработка программного обеспечения	30	01.11.2016	30.11.2016	Студент

2.4 Бюджет проекта

Планирование бюджета проекта предусматривает полное и достоверное отображение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета планируемые затраты группируются по статьям, приведенным в таблице (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Статьи						Накладные расходы	Итого плановая себестоимость (без учета накладных расходов)
	Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями		
Аналитический обзор методов исследования и анализа	-	-	-	-	-	450	20 768,4	450
Аналитический обзор аппаратно-программного обеспечения	-	-	-	-	-	450		450
Составление ТЗ	-	-	-	-	-	-		-
Утверждение ТЗ	-	-	17170	2060	5211,33	-		24 441,33
Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования	37,28	256 274,63	-	-	-	450		256 761,91
Построение математической модели	-	-	-	-	-	900		900
Составление ТЗ на ПО	-	-	-	-	-	-		-
Утверждение ТЗ на ПО	-	-	3 434	412	1042,27	-		4 888,27
Разработка программного обеспечения	-	-	-	-	-	450		450

Окончание таблицы 2.4

Определение способа крепления и мест установки первичных преобразователей	-	-	-	-	-	450	450
Исследование виброакустических сигналов	-	-	-	-	-	-	-
Доработка программного обеспечения	-	-	-	-	-	450	450
Исследование виброакустических сигналов	-	-	-	-	-	-	-
Сравнительный анализ теоретических и практических результатов испытаний	-	-	-	-	-	-	-
Подготовка текста диссертационной работы	350	-	-	-	-	-	350
Итого:							310359,91

2.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребляемых материальных ценностей определяется по нормам расхода. Расчет стоимости материальных затрат производится согласно действующим прейскурантам. Также в стоимость материальных затрат включают транспортно-заготовительные расходы (3-5% от цены) и затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов). Результаты формирования данной статьи вносятся в табл. 2.5.

Таблица 2.5 – Сырье, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
<i>Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования</i>				
Круглый прокат	Круг 10x230	1	35,5	35,5
Всего за материалы				35,5
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				1,78
Итого по статье С_м				37,28

<i>Подготовка текста диссертационной работы</i>				
Печатные услуги	Лист А4	130	2	260
Брошюровка		1	90	90
Всего за материалы				350
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				
Итого по статье С_л				350

2.4.2 Специальное оборудование для научных работ

В данную статью вносятся все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ. Определение стоимости оборудования производится исходя из действующих прейскурантов. Результаты по данной статье заносятся в табл. 2.6.

Таблица 2.6 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб	Затраты по доставке оборудования (15% от цены), руб	Общая стоимость оборудования, руб
<i>Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования</i>					
1	Реконфигурируемое встраиваемое шасси NI cRIO-9073	1	89 552,5 (1 585 \$)	13 432,88	102 985,38
2	Модуль аналогового ввода NI 9234	1	63 280 (1 120\$)	9 492	72 772
3	Виброприобразователь AP2082M-100	1	60 000	9 000	69 000
4	Пьезоакселерометр со встроенным преобразователем AC102-1A	1	10 015	1 502,25	11 517,25
				Итого:	256274,63

2.4.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ, предусмотренных проектом. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. Расчет основной заработной платы сводится в табл.2.7.

Таблица 2.7 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарплата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Утверждение ТЗ	Руководитель	10	1 717	17 170
2	Утверждение ТЗ на ПО	Руководитель	2	1 717	3 434
					Итого: 20 604

Статья включает в себя основную и дополнительную заработные платы работника, непосредственно занятого выполнением проекта.

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (2.1)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается в соответствии с отраслевой оплатой труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- 1) Оклад ($Z_о$) – 26 300 руб.
- 2) Районный коэффициент (k_p) – 1,3.

Месячный должностной оклад работника определяется по формуле 2.2 [4, с.40]:

$$Z_m = Z_о \cdot k_p, \quad (2.2)$$

$$Z_m = 26\,300 \cdot 1,3 = \mathbf{34\,190} \text{ руб.}$$

Рассчитываем среднедневную заработную плату по формуле 2.3 [4, с.39]:

$$Z_{дн} = \frac{(Z_m \cdot M)}{F_d}, \quad (2.3)$$

где M – кол-во месяцев работы без отпуска в течение года;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени, раб. дн. (табл.2.8).

Таблица 2.8 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель
Календарное число дней	365
Количество нерабочих дней (выходные дни, праздничные дни)	118
Потери рабочего времени (отпуск)	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	223

$$Z_{\text{дн}} = (34\,190 \cdot 11,2) / 223 = 1\,717 \text{ руб.}$$

2.4.4 Дополнительная заработная плата

Данная статья учитывает сумму выплат, предусмотренных законодательством о труде, в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10 – 15 % от основной заработной платы работника, непосредственно участвующего в проекте по формуле 2.4 [4, с.41]:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (2.4)$$

где $Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

$$Z_{\text{доп}} = 0,12 \cdot 34\,190 = 4\,102,8 \text{ руб.}$$

Рассчитаем дополнительную заработную плату, приходящуюся на один рабочий день:

$$Z_{\text{дн.доп.}} = Z_{\text{дн.}} \cdot k_{\text{доп}}, \quad (2.5)$$

$$Z_{\text{дн.доп.}} = 1\,717 \cdot 0,12 = 206 \text{ руб.}$$

Таблица 2.9 – Расчет дополнительной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Дополнительная заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб.	Всего дополнительная заработная плата, руб.
1	Утверждение ТЗ	Руководитель	10	206	2 060
2	Утверждение ТЗ на ПО	Руководитель	2	206	412
Итого:					2 472

2.4.5 Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды, которые рассчитываются в соответствии с формулой 2.6 [4, с.42]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (2.6)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент на уплату во внебюджетные фонды

Таблица 2.10 – Страховые взносы

Куда	Тарифная ставка, %
Пенсионный фонд	22
Фонд обязательного медицинского страхования	5,1

Произведем расчет отчислений на социальные нужды (табл.2.11)

Таблица 2.11 – Расчет отчислений на социальные нужды

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Отчисления в пенсионный фонд, руб	Отчисления в фонд обязательного медицинского страхования, руб.	Всего отчислений на социальные нужды, руб.
1	Утверждение ТЗ	Руководитель	4 230,6	980,73	5 211,33
2	Утверждение ТЗ на ПО	Руководитель	846,12	196,15	1 042,27
Итого: 6 253,6					

2.4.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

В эту статью относится стоимость использования Internet на разных этапах развития проекта. Оплата осуществляется по тарифному плану равному 450 руб/мес.

Произведем расчет стоимости использования Internet, полученный результат внесем в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Стоимость использования Internet

№ п/п	Наименование этапов	Период использования, мес.	Ежемесячный платеж, руб.	Всего затрачено средств, руб.
1	Аналитический обзор методов исследования и анализа	1	450	450
2	Аналитический обзор аппаратно-программного обеспечения	1	450	450
3	Разработка комплекса контрольно-измерительного оборудования	1	450	450

4	Построение математической модели	2	450	900
5	Разработка программного обеспечения	1	450	450
6	Определение способа крепления и мест установки первичных преобразователей	1	450	450
7	Доработка программного обеспечения	1	450	450
Итого:				3 600

2.4.7 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обеспечение работ, связанных с проектом.

Как правило, накладные расходы составляют 80 – 100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, задействованных в выполнении проекта.

Расчет накладных расходов производится по формуле 2.7 [4, с.19]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (2.7)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов, принимаем равным 0,9.

Таким образом, накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,9 \cdot 23\,076 = 20\,768,4 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных, приведенных в каждой из статей затрат, производим калькуляцию плановой себестоимости проекта (табл.2.4).

3 Социальная ответственность

Введение

Данный раздел ВКР предназначен для рассмотрения вопросов охраны труда, окружающей среды и безопасности в чрезвычайных ситуациях в ходе разработки комплекса контрольно-измерительного оборудования (ККИО) и его программного обеспечения (ПО) для моделирования и анализа виброакустических сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе.

Инновационная составляющая данного проекта представляет собой создание ККИО и ПО, которые обеспечивают возможность определения влияния вибрационной составляющей на точность воспроизведения динамических законов нагружения и триботехнические характеристики узла трения при его испытании на автоматизированном триботехническом комплексе.

В ходе выполнения проекта проводятся:

1. Аналитический обзор методов и аппаратного-программного обеспечения исследования и анализа виброакустических сигналов.
2. Разработка ККИО для исследования и анализа виброакустических сигналов.
3. Построение математической модели формирования виброакустических сигналов при испытании узла трения на автоматизированном триботехническом комплексе.
4. Разработка ПО для моделирования и анализа виброакустических сигналов.
5. Определение способа крепления и мест установки первичных вибропреобразователей.

6. Исследование виброакустических сигналов при испытаниях трибосопряжения в условиях различных режимов нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе.

Разработка ККИО и ПО проводятся в помещениях университета (компьютерный класс, лаборатория для проведения токарной обработки).

3.1 Производственная безопасность

В данной главе производится анализ факторов рабочей зоны на предмет выявления их вредных и опасных проявлений.

Таблица 3.1 – Опасные и вредные факторы при разработке комплекса контрольно-измерительного оборудования и его программного обеспечения

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Разработка ККИО; 2) Разработка ПО для ККИО	<ul style="list-style-type: none"> • Отклонение показателей микроклимата; • Повышенный уровень шума на рабочем месте; • Повышенный уровень электромагнитного излучения; • Недостаточная освещенность рабочей зоны; • Вредные вещества 	<ul style="list-style-type: none"> • Электрический ток; • Пожаровзрывобезопасность 	<ul style="list-style-type: none"> • Параметры микроклимата устанавливаются СанПиН 2.2.4-548-96 [16]; • Предельно допустимый уровень шума на рабочем месте устанавливается по ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ [10] и ГОСТ 12.2.107 – 85 [12]; • Снижение негативного влияния электромагнитного излучения на персонал обеспечивается ГОСТ Р 50948-2001 [18]; • Нормы освещенности рабочего места устанавливаются согласно ГОСТ 12.1.046 – 85 [11] и СНиП 23–05–95 [15]; • Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны устанавливается • ГН 2.2.5.1313 – 03 [19]; • Электробезопасность устанавливается ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [20]; • Требования к пожарной безопасности устанавливаются по ГОСТ 12.1.004 – 91 [13] и СНиП 21–01–97 [17].

3.1.1 Показатели микроклимата

К показателям, характеризующим производственные метеоусловия или микроклимат, согласно СанПиН 2.2.4.548 – 96, относятся:

- Температура воздуха;
- Температура поверхностей;
- Относительная влажность воздуха;
- Скорость движения воздуха;
- Интенсивность теплового облучения.

Оптимальные производственные метеоусловия установлены по критериям, определяющим оптимальное тепловое и функциональное состояния человека. Соответствие данным критериям обеспечивает общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции. Кроме этого, соблюдение рамок, установленных критериями, приводит к отсутствию отклонений в состоянии здоровья, созданию предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

Оптимальные величины показателей производственных метеоусловий необходимо соблюдать на рабочих местах, предусматривающих выполнение работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением. Перечень других рабочих мест и видов работ, при которых должны обеспечиваться оптимальные величины микроклимата, определяются санитарными правилами по отдельным отраслям промышленности и другими документами, согласованными с органами Государственного санитарно-эпидемиологического надзора в установленном порядке [16].

Все категории работ разграничиваются на основании интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Таким образом, в соответствии с затрачиваемой энергией работа в компьютерном классе относится к категории Ia (до 120 ккал/ч (до 139 Вт)), а работа на токарном станке к категории IIб (201 – 250 ккал/ч (233 – 290 Вт)).

Оптимальные и допустимые величины показателей производственных метеоусловий (микроклимата) на рассматриваемых рабочих местах, при учете категории работы, в соответствии с [16, табл. 1, табл. 2], составляют:

Таблица 3.2 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 – 24	21 – 25	60 – 40	0,1
	Пб (233-290)	17 – 19	16 – 20	60 – 40	0,2
Теплый	Ia (до 139)	23 – 25	22 – 26	60 – 40	0,1
	Пб (233-290)	19 – 21	18 – 22	60 - 40	0,2

Таблица 3.3 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздух, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин			для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Ia (до 139)	20,0 – 21,9	24,1 – 25,0	19,0 – 26,0	15 – 75	0,1	0,1
	Пб (233-290)	15,0 – 16,9	19,1 – 22,0	14,0 – 23,0	15 – 75	0,2	0,4
Теплый	Ia (до 139)	21,0 – 22,9	25,1 – 28,0	20,0 – 29,0	15 – 75	0,1	0,2
	Пб (233-290)	16,0 – 18,9	21,1 – 27,0	15,0 – 28,0	15 - 75	0,2	0,5

3.1.2 Шум на рабочем месте

При длительном воздействии шума с уровнем звукового давления от 100 до 120 дБ на слуховой аппарат человека, существует риск снижения остроты его слуха. Данные уровни шума предусматривают приложение человеком больших физических и нервно-психологических усилий, что зачастую

приводит к быстрой утомляемости и потери концентрации внимания, в свою очередь влекущих за собой понижение производительности, ухудшение качества продукции (брак) и рост случаев производственного травматизма.

В процессе работы в компьютерном классе и за станочным оборудованием мы сталкиваемся с такой категорией шума как постоянный шум, т.е. это шум, уровень звука которого за 8-часов (рабочую смену) претерпевает изменения не более чем на 5 дБ.

Характеристикой данной категории шума на рабочем месте являются уровни звукового давления L в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Гц [10]. Величина уровня звукового давления определяется по формуле [10]:

$$L = 20 \lg p / p_0, \quad (3.1)$$

где p - среднее квадратичное значение звукового давления, Па;

p_0 - исходное значение звукового давления ($p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – в воздухе).

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот, в зависимости от вида трудовой деятельности, принимаются согласно [10, табл. 1]:

Таблица 3.4 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах частот

Вид трудовой деятельности, рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Компьютерный класс (проектирование и написание ПО)	86	71	61	54	49	45	42	40	38
Оператор токарного станка	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Согласно ГОСТ 12.2.107-85, допустимые значения звуковых характеристик при работе металлорежущих станков на холостом ходу или при рабочей нагрузке не должны превышать значений, приведенных в таблице 3.5 [12, табл. 1]:

Таблица 3.5 – Октавные и скорректированные уровни звуковой мощности

Суммарная номинальная мощность электродвигателя привода, кВт	Уровни звукового давления L, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Скорректированный уровень звукового давления L _A , дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
4 – 12,5	95	95	95	95	92	90	88	86	97

Таким образом, сопоставив значения двух приведенных таблиц, можно утверждать, что для сохранения здоровья и работоспособности человека необходимо обеспечить применение средств и методов коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029-80 и средств индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051-87.

3.1.3 Электромагнитные излучения

При работе за компьютерной техникой основным неблагоприятным фактором, воздействующим на человеческий организм, являются электромагнитные поля высоких частот. В результате их чрезмерного воздействия у человека наблюдаются:

- Головные боли;
- Быстрая утомляемость;
- Нарушение режимов бодрствования и сна;
- Раздражительность;
- Утомление зрительного аппарата;
- Снижение остроты зрения.

Основным источником излучения электромагнитных полей высоких частот в компьютерной технике являются видеомониторы, частота излучаемых полей которых составляет 15 Гц – 110 кГц.

Для обеспечения благоприятных условий работы персонала, согласно ГОСТ Р 50948-2001 [18], к видеомониторам предъявляются следующие требования:

- К визуальным параметрам:
 1. Яркость знака должна составлять не менее 35 кд/м² для дисплеев на ЭЛТ и не менее 20 кд/м² для плоских экранов;
 2. Неравномерность яркости рабочего поля экрана не должна превышать 20%;
 3. Неравномерность яркости элементов знака не должна превышать 20%;
 4. Контраст изображения должен составлять не менее 3:1;
 5. Амплитуда смещения изображения не должна превышать $2 \cdot 10^{-4} l$, где l – расстояние от видеомонитора до глаз наблюдателя.
- К параметрам создаваемых полей:
 1. Электростатический потенциал экрана не должен превышать ± 500 В;
 2. Напряженность электрической составляющей переменного электромагнитного поля дисплея не должна превышать:
 - а) 25 В/м, в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц;
 - б) 2,5 В/м, в диапазоне частот от 2 до 400 кГц.
 3. Плотность магнитного потока не должна превышать:
 1. 250 нТл, в диапазоне частот от 5 Гц до 2 кГц;
 2. 25 нТл, в диапазоне частот от 2 до 400 кГц.

3.1.4 Освещенность рабочей зоны

Освещенность рабочего места является важным фактором в процессе производства и создания нормальных условий труда. Недостаточный уровень освещенности ведет к ухудшению здоровья рабочего, к его быстрой утомляемости, искажению информации, получаемой посредством зрительного органа, и, как следствие, повышению числа бракованных изделий и случаев производственного травматизма.

Производственная освещенность характеризуется:

- Силой света (характеризует пространственную плотность света);
- Световым потоком (характеризует мощность лучистой энергии, оцениваемую по визуальному ощущению);

- Яркостью (отношение силы света к площади светящейся поверхности);
- Освещенностью (явление падения на поверхность светового потока).

Основным требованием освещенности рабочего места является ее соответствие разряду проводимых зрительных работ, определяемых по [15, табл. 2]:

Таблица 3.6 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения

1	2	3	4		5		6		7		8		9		10		11		12		13	
			При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	При верхнем или комбинированном освещении	При боковом освещении	Всего	От общего	При комбинированном освещении	При общем освещении	Цилиндрическая освещенность $E_{ц}$, лк	Показатель дискомфорта M , не более	Коэффициент пульсации освещенности K_p , %, не более	Естественное освещение	КЕО, e_n , %	Искусственное освещение	Освещенность, лк	Совмещенное освещение	КЕО, e_n , %	
	Помещение	Разряд и подразряд зрительной работы по СНиП 23-05-95																				
	Рабочая поверхность и плоскость нормирования КЕО и освещенности (Γ – горизонтальная, B – вертикальная), и высота плоскости над полом																					

Мастерские по обработке металлов и древесины	Помещения для работы с дисплеями и видеотерминалами, залы ЭВМ
Г-0,8	Г-0,8; экран монитора: В-1,2
Шб	А-2; Б-2
-	3,5; -
-	1,2; -
3,0	2,1; -
1,2	0,7; -
750	500; -
200	300; -
300	400; 200
-	-; -
40	15; -
15	10; -

Произведем расчет искусственного освещения:

Основной задачей расчетов искусственного освещения является выявление мощности осветительных приборов, необходимой для создания требуемой степени освещенности рабочего места.

Выбор источника освещения:

Согласно ГОСТ 12.1.046 – 85 [11], в качестве источника света целесообразно использовать люминесцентные лампы, что обусловливается их экономичностью, длительным сроком службы, спектральным составом излучаемого света, близким к спектральному составу естественного света, высоким уровнем светоотдачи.

Таблица 3.7 – Основные характеристики люминесцентных ламп

Мощность, Вт	Напряжение сети, В	Световой поток, лм			
		ЛД	ЛХБ	ЛБ	ЛТБ
15	127	700	820	835	850
20	127	880	1020	1060	1060
30	220	1650	1940	2020	2020
40	220	2300	2700	2800	2850
65	220	3750	4400	4600	4600
80	220	4250	5000	5200	5200
125	220	-	10400	-	9150

Примечание: ЛД – лампы дневного цветности; ЛХБ – лампы холодно-белой цветности; ЛТБ – лампы тепло-белой цветности; ЛБ – лампы белой цветности.

Выбор осветительных приборов и их размещение:

Рассматриваем помещение № I (компьютерный класс).

Длина помещения $Y = 9$ м, ширина $X = 6$ м, высота $Z = 3,5$ м, требуемая освещенность $E = 500$ лк.

Коэффициент запаса $k = 1,5$ [7, с.12, табл. 9], коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 70$ %, коэффициент отражения стен $\rho_{\text{с}} = 30$ % [7, с.12, табл. 10], коэффициент неравномерности $k_{\text{н}} = 1,1$ [7, с 12].

Выбираем осветительный прибор типа ОД, $\lambda = 1,4$ [7, с. 9, табл. 7].

Приняв высоты свеса $h_{\text{с}} = 0,16$ м, получаем:

Высота светильника над полом согласно формуле [7, с. 6], составляет:

$$h_{\text{п}} = Z - h_{\text{с}}, \quad (3.2)$$

$$h_{\text{п}} = 3,5 - 0,16 = \mathbf{3,34} \text{ м}$$

Высота рабочей поверхности над полом $h_{\text{рп}} = \mathbf{0,7}$ м

Следовательно, высота светильника над рабочей поверхностью составляет [7, с. 6]:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{рп}}, \quad (3.3)$$

$$h = 3,34 - 0,7 = \mathbf{2,64} \text{ м}$$

Переходим к определению расстояния между соседними осветительными приборами, которое рассчитывается по формуле [7, с. 9]:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (3.4)$$

$$L = 1,4 \cdot 2,64 = \mathbf{3,6} \text{ м}$$

Оптимальное расстояние от крайнего ряда до стены l принято брать равным $1/3$ от L [7, с. 6]:

$$l = 1/3 \cdot 3,6 = 1,2 \text{ м}$$

Таким образом, исходя из проведенных расчетов, размещаем осветительные приборы в два ряда. При этом, каждый ряд содержит по 5 осветительных приборов типа ОД с интервалом в 500 мм (рис.3.1):

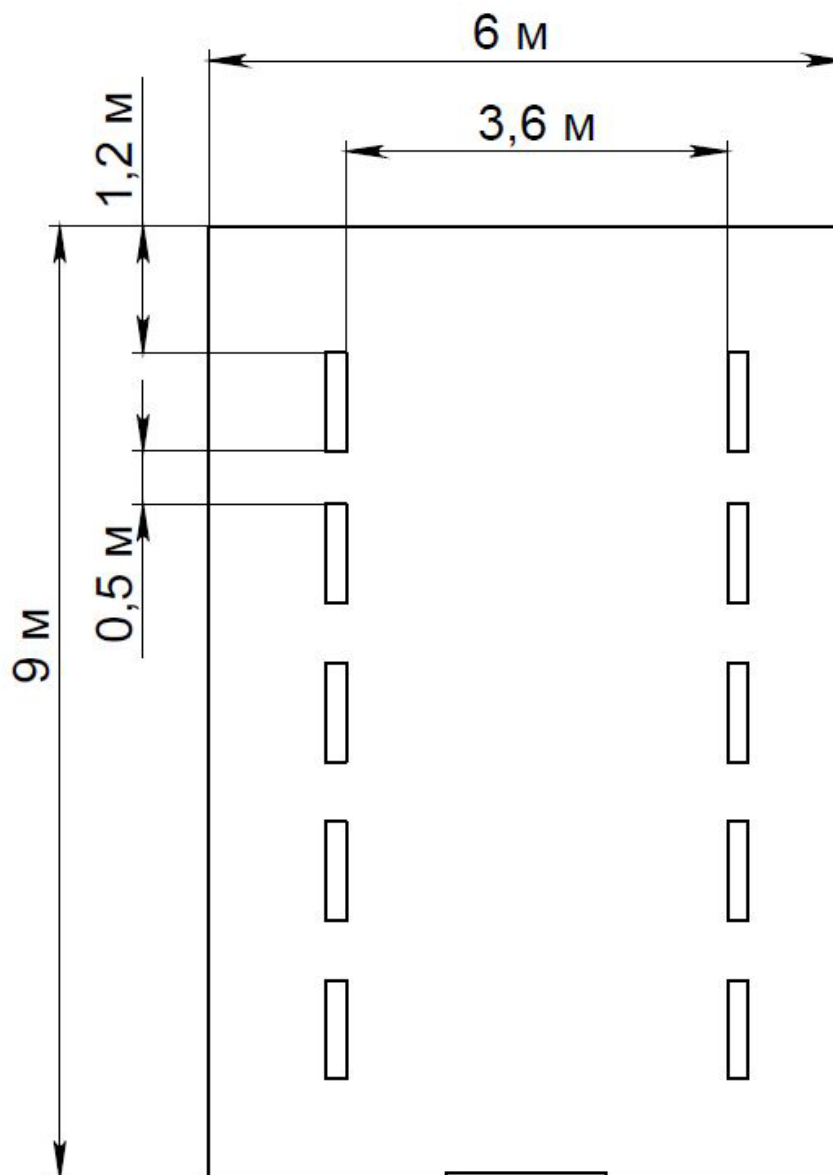


Рисунок 3.1 – План размещения осветительных приборов в компьютерном классе
С учетом того, что каждый осветительный прибор содержит по 2 люминесцентные лампы, мы получаем общее число ламп $N = 20$ шт.

Рассчитываем индекс помещения по формуле [7, с. 10]:

$$i = S/h(X + Y), \quad (3.5)$$

где S – площадь освещаемого помещения, m^2 .

$$i = 54/2,64 \cdot (6 + 9) = 1,4.$$

Согласно [7, с. 13, табл. 11], определяем коэффициент использования светового потока η :

$$\eta = 0,5.$$

Рассчитываем необходимый световой поток ламп в каждом из рядов согласно формуле [7, с. 11]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot k_n}{N \cdot \eta}, \quad (3.6)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность по СНиП 23 – 05 – 95, лк.

$$\Phi = \frac{500 \cdot 54 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{20 \cdot 0,5} = 4455 \text{ лм},$$

Используя информацию, указанную в табл. 3.7, производим подбор ЛЛ в соответствии с требуемым световым потоком. Выбираем ЛБ 65 Вт 220 со световым потоком 4600 лм.

Производим проверку выполнения условия в соответствии с формулой [7, с. 16]:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%, \quad (3.7)$$

таким образом, получаем

$$\begin{aligned} -10\% &\leq \frac{4600 - 4455}{4600} \cdot 100\% \leq +20\%, \\ -10\% &\leq +3,15\% \leq +20\% \end{aligned}$$

Условия выполняются.

Электрическая мощность осветительной установки составит:

$$P = 20 \cdot 65 = 1300 \text{ Вт}$$

Рассматриваем помещение № II (помещение для токарной обработки).

Длина помещения $Y = 20$ м, ширина $X = 12$ м, высота $Z = 6$ м, требуемая освещенность $E = 750$ лк.

Коэффициент запаса $k = 1,8$ [7, с.12, табл. 9], коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 30 \%$, коэффициент отражения стен $\rho_{\text{с}} = 30 \%$ [7, с.12, табл. 10], коэффициент неравномерности $k_{\text{н}} = 1,1$ [7, с 12].

Выбираем осветительный прибор типа ОД, $\lambda = 1,1$ [7, с. 9, табл. 7].

Приняв высоты свеса $h_{\text{с}} = 0,5$ м, получаем:

Высота светильника над полом, согласно формуле [7, с. 6], составляет:

$$h_{\text{п}} = Z - h_{\text{с}}, \quad (3.8)$$

$$h_{\text{п}} = 6 - 0,5 = \mathbf{5,5 \text{ м}}$$

Высота рабочей поверхности над полом $h_{\text{рп}} = \mathbf{1,3 \text{ м}}$

Следовательно, высота светильника над рабочей поверхностью составляет [7, с. 6]:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{рп}}, \quad (3.9)$$

$$h = 5,5 - 1,2 = \mathbf{4,3 \text{ м}}$$

Переходим к определению расстояния между соседними осветительными приборами, рассчитываемого по формуле [7, с. 9]:

$$L = \lambda \cdot h, \quad (3.10)$$

$$L = 1,1 \cdot 4,3 = \mathbf{4,7 \text{ м}}$$

Оптимальное расстояние от крайнего ряда до стены l принято брать равным $1/3$ от L [7, с. 6]:

$$l = \frac{1}{3} \cdot 4,6 = \mathbf{1,6 \text{ м}}$$

Таким образом, исходя из проведенных расчетов, размещаем осветительные приборы в два ряда. При этом, каждый ряд содержит по 17 осветительных приборов типа ОД с интервалом в 750 мм (рис.3.2):

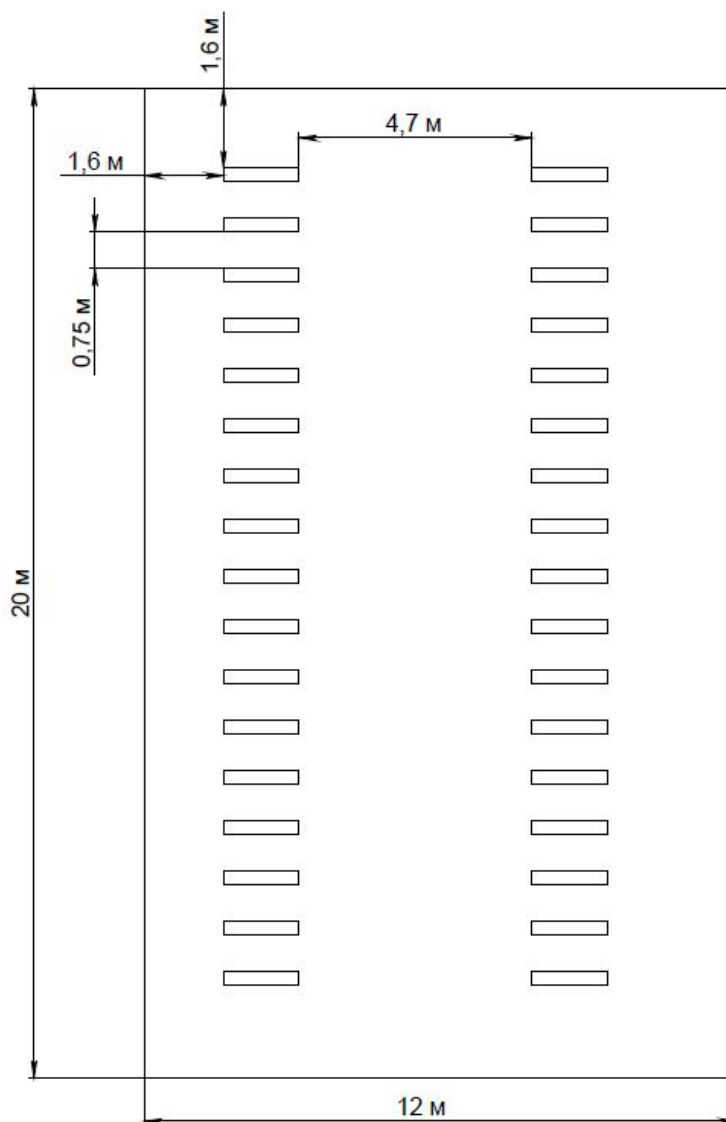


Рисунок 3.2 – План размещения осветительных приборов в помещении токарной и гидроабразивной обработки

С учетом того, что каждый осветительный прибор содержит по 2 люминесцентные лампы, мы получаем общее число ламп **N = 68 шт.**

Рассчитываем индекс помещения по формуле [7, с. 10]:

$$i = S/h(X + Y), \quad (3.11)$$

где S – площадь освещаемого помещения, m^2 .

$$i = 240/4,3 \cdot (12 + 20) = \mathbf{1,74.}$$

Согласно [7, с. 13, табл. 11], определяем коэффициент использования светового потока η :

$$\eta = \mathbf{0,7.}$$

Рассчитываем необходимый световой поток ламп в каждом из рядов согласно формуле [7, с. 11]:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot k \cdot k_n}{N \cdot \eta}, \quad (3.12)$$

где E_n – нормируемая минимальная освещенность по СНиП 23 – 05 – 95, лк.

$$\Phi = \frac{750 \cdot 240 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{68 \cdot 0,5} = \mathbf{10482} \text{ лм,}$$

Используя информацию, указанную в табл.7, производим подбор ЛЛ в соответствии с требуемым световым потоком. Выбираем ЛХБ 125 Вт 220 со световым потоком 10400 лм.

Производим проверку выполнения условия в соответствии с формулой 3.7:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%,$$

таким образом, получаем

$$\begin{aligned} -10\% &\leq \frac{10400 - 10482}{10400} \cdot 100\% \leq +20\%, \\ -10\% &\leq -0,8\% \leq +20\% \end{aligned}$$

Условия выполняются.

Электрическая мощность осветительной установки составит:

$$P = 68 \cdot 125 = 8500 \text{ Вт}$$

3.1.5 Вредные вещества

Выполнение различного рода работ в промышленности, как правило, сопровождается выделением вредных веществ в воздушную среду рабочей зоны.

Несоблюдение предельно допустимой концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, установленной ГН 2.2.5.1313 – 03 [19], может привести к производственному травматизму или профессиональным заболеваниям.

В процессе производства комплекса контрольно-измерительного оборудования производится токарная обработка, результатом которой, в случае применения СОЖ (смазочно-охлаждающей жидкости), является выделение аэрозоля СОЖ. Согласно [19], предельно допустимые концентрации аэрозоля СОЖ в воздухе рабочей зоны составляет 5 мг/м^3 , с учетом объема помещения, предназначенного для проведения токарной обработки (1440 м^3), допустимая концентрация аэрозоля составит 7200 мг/1440 м^3 или $7,2 \text{ г/ 1440 м}^3$.

С целью предотвращения опасного воздействия вредных веществ на организм человека, необходимо обеспечить применение средств индивидуальной защиты, предотвращающих попадание аэрозолей в глаза (защитные очки), дыхательную систему (респираторы) и на кожу (спецодежда).

3.1.6 Электробезопасность

Пагубное воздействие электрического тока на людей проявляется в виде поражений током (электротравм) и профессиональных заболеваний. Степень воздействия электрического тока на человеческий организм, в свою очередь, согласно ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [20], зависит от таких факторов, как:

- Величина напряжения и тока;
- Частота электрического тока;
- Путь, проходимый током через тело человека;
- Продолжительность воздействия электрического тока или поля на человеческий организм;
- Условия внешней среды.

Обеспечение электробезопасности на предприятии достигается:

- Конструкционной составляющей электроустановок;
- Техническими способами и средствами защиты;
- Организационными и техническими мероприятиями.

С целью защиты персонала от случайных соприкосновений с токоведущими частями оборудования при работе в компьютерном классе и помещении для токарной обработки, предусматриваются:

- Защитные оболочки (корпуса компьютера и станочного оборудования);
- Безопасное расположение токоведущих частей (в труднодоступных местах);
- Изоляция токоведущих частей (скрытие электропроводов в кабель каналы).

Для предотвращения случаев поражения электрическим током при соприкосновении с металлическими нетоковедущими частями, которые зачастую могут находиться под напряжением из-за поврежденной изоляции, применяются такие способы защиты как:

- Защитное заземление;
- Зануление;
- Защитное экранирование;
- Система защитных проводов;
- Защитное отключение;
- Изоляция нетоковедущих частей;
- Электрическое разделение сети;
- Простое и защитное разделение цепи по ГОСТ Р МЭК 61140 – 2000;
- Малое напряжение;
- Контроль изоляции;
- Компенсация токов замыкания на землю;
- Электроизоляционные средства;
- Средства индивидуальной защиты

Применение технических способов и средств защиты производится как отдельно, так и в условиях их сочетания, это обусловлено стремлением обеспечить защиту персонала и при нормальном функционировании оборудования, и в случаях его неисправности (возникновения аварийных ситуаций).

3.1.7 Пожарная безопасность

При протекании пожара, опасными факторами, воздействующими на здоровье людей и материальные ценности, согласно ГОСТ 12.1.004 – 91 [13], являются:

- Пламя и искры;
- Повышенная температура окружающей среды;
- Токсичные продукты горения и термического разложения;
- Дым;
- Пониженная концентрация кислорода.

Вторичными же факторами, воздействующими на здоровья людей и материальные ценности, принято считать:

- Осколки и части разрушившихся аппаратов, агрегатов, конструкций, установок;
- Радиоактивные и токсичные вещества и материалы, вышедшие из разрушившихся аппаратов и установок;
- Электрический ток, вынесшийся на токопроводящие части конструкций, аппаратов и агрегатов;
- Опасные факторы взрыва по ГОСТ 12.1.010 - 76, происшедшего вследствие пожара;
- Огнетушительные вещества.

Возможными причинами возгорания в рабочей зоне I (компьютерный класс) являются:

1. Возникновение короткого замыкания в электропроводке;
2. Возгорание легковоспламеняющихся веществ в помещении из-за несоблюдения правил пожарной безопасности;
3. Пожар в соседнем помещении;
4. Возгорание техники вследствие нарушения целостности изоляционных средств или ее неисправности;

Причинами возгорания в рабочей зоне II (помещение для проведения токарной обработки) являются:

1. Возникновение короткого замыкания в электропроводке;
2. Возгорание легковоспламеняющихся веществ в помещении из-за несоблюдения правил пожарной безопасности;
3. Пожар в соседнем помещении;
4. Возгорание оборудования вследствие нарушения целостности изоляционных средств или неисправности самой аппаратуры;
5. Контакт раскаленной поверхности колбы лампы с веществом, температура самовозгорания которого в значительной степени ниже температуры поверхности лампы.

Для предотвращения возникновения пожара в рассматриваемых рабочих зонах, необходимо предотвратить образование благоприятной горючей среды и источников зажигания. Предотвращение образования горючей среды и источников зажигания обеспечивается следующими способами:

- Применение негорючих или трудновоспламеняющихся веществ и материалов;
- Ограничение массы и (или) объема горючих веществ, материалов и наиболее безопасное их размещение;
- Изоляция горючей среды;
- Максимальная механизация и автоматизация технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ;
- Применением электрооборудования, соответствующего пожароопасной и взрывоопасной зонам, согласно ГОСТ 12.1.011 – 78;
- Применение в конструкции оборудования и техники быстродействующих средств отключения;
- Содержание электрооборудования в исправном состоянии;
- Использование пожарной сигнализации.

В случае возникновения пожара, с целью предотвращения получения тяжкого вреда здоровью людей, находящихся в помещении (здании), и проведения их успешной эвакуации до приезда пожарного расчета, необходимо использовать первичные средства пожаротушения, к которым относятся:

1. Огнетушители;
2. Внутренние пожарные краны;
3. Пожарные щиты с инвентарем и ящиками с песком.

Процесс эвакуации при пожаре, несмотря на применение первичных средств пожаротушения, проходит в условиях нарастающего действия опасных факторов пожара (ОФП). Исходя из этих соображений, можно утверждать, что безопасность людей находится в прямой зависимости от времени их пребывания в горящем помещении (здании). Кратковременность процесса эвакуации обеспечивается устройством эвакуационных путей и выходов, их числом и размерами.

Согласно требованиям СНиП 21 – 01 – 97 [17], число эвакуационных выходов из здания на каждом этаже должно составлять не менее двух штук. Высота эвакуационных выходов должна быть не менее 1,9 м, а ширина не менее 1,2 м, что обусловлено числом эвакуирующихся (более 15 чел.). План эвакуации для рабочих зон I и II представлен на рис.3.3 и рис.3.4 соответственно.



Рисунок 3.3 – План эвакуации для рабочей зоны I



Рисунок 3.4 – План эвакуации для рабочей зоны II

3.2 Экологическая безопасность

В данной главе производится выявление вероятных источников загрязнения окружающей среды, возникающих в результате реализации конструкторских и технологических решений, предлагаемых в ВКР.

3.2.1 Защита атмосферы

В результате механической обработки металлов, проводимой в процессе реализации конструкторских и технологических решений, предполагаемых в ВКР, происходит выделение пыли, туманов, масел и эмульсий, которые через систему вентиляции помещения попадают в окружающую среду. Удаляемый из помещения вентиляционный воздух зачастую становится причиной загрязнения атмосферного воздуха жилых зон и производственных площадок. Установлено, что в летний период года при средней наружной температуре воздуха 20 °С в жилые помещения проникает около 90% примесей наружного воздуха, а в переходный период приблизительно 40% при температуре в 2,5 °С [3]. С целью снижения степени пагубного воздействия атмосферных выбросов предприятия, необходимо реализовывать следующие варианты защиты [3]:

- Вывод токсичных веществ из помещений необходимо обеспечивать общеобменной вентиляцией;
- Локализация токсичных веществ в зоне их образования местной вентиляцией, очистка загрязненного воздуха в специально предназначенных аппаратах и его возврат в производственное или бытовое помещение;
- Локализация токсичных веществ в зоне их образования местной вентиляцией, очистка загрязненного воздуха в специально предназначенных аппаратах и последующий выброс, и рассеивание в атмосфере;

Согласно требованиям ГОСТ 17.2.3.02 – 78, для каждого проектируемого или действующего предприятия существует величина допустимых выбросов вредных веществ в атмосферу. Основным критерием,

определяющим качество атмосферного воздуха при выявлении предельно допустимых выбросов, является предельно допустимая концентрация (ПДК). Таким образом, для обеспечения должной степени защиты населения, аппараты по очистке воздуха должны предотвращать концентрацию вредных веществ в воздухе, превышающую ПДК. При этом, обязательно выполнение следующего соотношения [9, формула 1]:

$$\frac{C}{\text{ПДК}} \leq 1, \quad (3.13)$$

где C – расчетная концентрация вредного вещества в приземном слое воздуха.

3.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данной главе приведены источники чрезвычайной ситуации, характерные для района проведения работ по реализации решений, приведенных в ВКР.

Согласно ГОСТ Р 22.0.06 – 95 [14], наиболее вероятными чрезвычайными ситуациями на объекте являются чрезвычайные ситуации (ЧС) природного характера. К природным ЧС относятся:

- Землетрясения;
- Вулканические извержения;
- Оползни;
- Обвалы;
- Сели;
- Цунами;
- Лавины;
- Наводнения;
- Смерч;
- Пыльная буря;
- Природный пожар.

Учитывая специфику географического положения территории проведения работ, наиболее вероятным источником чрезвычайной ситуации является природный пожар.

3.3.1 Природный пожар

При возникновении природного пожара основным поражающим фактором, влияющим на здоровье людей и состояние производственного и личного имущества, является теплофизический фактор, который включает в себя:

- Пламя;
- Нагрев тепловым потоком;
- Тепловой удар;
- Помутнение воздуха;
- Ядовитые дымы;
- Загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы.

В целях предупреждения возникновения лесного пожара, необходимо строго следовать правилам пожарной безопасности в лесах Российской Федерации, установленным постановлением правительства Российской Федерации № 417 от 30 июня 2007 года.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации из-за природного пожара, для ее устранения необходимо совершить ряд следующих действий:

1. Сообщить об опасности перехода природного пожара на населенный пункт по номеру телефона 01, указав при этом фамилию имя отчество, занимаемую должность, приблизительное расположение природного пожара.
2. Организовать оповещение населения (оповестить персонал);
3. Определить и обеспечить пути эвакуации населения (предприятия);
4. Организовать тушение природного пожара собственными силами и средствами, с целью предотвращения перехода пожара на населенный пункт (предприятие);

5. Назначить ответственное лицо за встречу пожарных расчетов, с целью указания кратчайших путей подъезда к месту горения и источникам пополнения воды для пожаротушения;
6. Произвести ликвидацию последствий природного пожара (разобрать завалы, наладить коммуникацию).

3.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

3.4.1 Организация рабочего места в компьютерном классе

Специфика распространения вредоносного излучения (в стороны и назад) и стремление обеспечить комфортные условия в процессе работы определили следующие правила организации рабочего места [8]:

1. Расстояние между боковыми поверхностями соседних мониторов не должно составлять менее 1,2 м;
2. Расстояние между тыльной частью мониторов не должна составлять менее 2 м;
3. Конструкция рабочего стола должна обеспечивать удобное размещение оборудования с учетом его количества;
4. Высота стола должна составлять от 680 до 800 мм;
5. Глубина рабочей поверхности стола не должна составлять менее 600 мм;
6. Ширина рабочего стола не должна составлять менее 1200 мм;
7. Рабочая поверхность стола не должна содержать острых углов;
8. Пространство для ног должно составлять в высоту не менее 600 мм, в ширину не менее 500 мм и в глубину не менее 450 мм;
9. Клавиатура должна располагаться на расстоянии 100 – 300 мм от края стола, обращенного к пользователю.

При 8 часовой рабочей смене, предусматривающей использование персонального компьютера, для снижения уровня воздействия излучения на человеческий организм предусмотрены перерывы, составляющие от 10 до 20 минут и проводимые через 2 часа после начала смены и 1,5 – 2 часа после обеденного перерыва.

3.4.2 Требования техники безопасности при работе на токарном станке

Требования техники безопасности, согласно [5], подразделяются на три части, каждая из которых соответствует определенному периоду эксплуатации:

Перед началом работы:

- Необходимо одеть спец одежду, застегнуть обшлаги рукавов, заправить все выступающие элементы одежды, убрать волосы под головной убор;
- Необходимо проверить исправность станка, предохранительных приспособлений, заземление и наличие защитных кожухов;
- Перед пуском станка удостовериться в его безопасности по отношению к другим людям, находящимся в помещении;
- На холостом ходу станка проверить исправность органов управления, систему смазки и охлаждения, правильность фиксации рычагов включения и переключения, движущиеся части станка на предмет заедания;
- Подготовить приспособление для удаления стружки;
- Расположить шланги подающие СОЖ таким образом, чтобы исключить их соприкосновение с режущим инструментом и подвижными частями станка;
- Не допускать попадание масла на пол;
- Проверить положение рукояток включения (должны находиться в нейтральном положении).

Во время выполнения работы:

- Надежно закрепить режущий инструмент и заготовку;
- Запрещается брать и подтягивать через станок какие-либо предметы, запрещается производить подтягивание болтов;
- Необходимо своевременно удалять стружку;
- Запрещается производить уборку возле станка;
- Остерегаться заусенцев на поверхности обрабатываемой детали;

- При возникновении вибраций, проверить надежность закрепления инструмента и детали, принять меры по их устранению;

После окончания работы:

- Выключить станок и местное освещение;
- Произвести уборку станка и рабочего места;
- Сообщить обо всех замеченных неисправностях в работе станка мастеру;
- Снять спец одежду;
- Вымыть руки и лицо теплой водой с мылом.

Выводы

1. Создан комплекс контрольно-измерительного оборудования и программное обеспечение к нему, позволяющие производить исследования и анализа виброакустических сигналов.
2. Качество снимаемого сигнала (в диапазоне средних частот) при различных способах закрепления вибропреобразователя равноценно.
3. Наиболее информативным каналом для определения режима трения при различных режимах нагружения на автоматизированном триботехническом комплексе является канал, обеспечивающий съем вибрационных данных по оси Y.
4. Коэффициент трения не способен в полной мере передавать реальное состояние механизма (узла трения).
5. Определена трудоемкость выполняемых работ предусмотренных ВКР.
6. Произведено рассмотрение вопросов охраны труда, окружающей среды и безопасности в чрезвычайных ситуациях характерных для условий проведения производственной деятельности предусмотренной ВКР.

Список публикаций студента

1. Щербанский А. П., Гончаров И. С., Мухин Д. С. Оптимизация углового шага сканирования пространства [Электронный ресурс] // Современные техника и технологии: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 9-13 Апреля 2012. - Томск: ТПУ, 2012 - Т. 1 - С. 337-338 - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
2. Буханченко С. Е., Пустозеров К. Л., Щербанский А. П., Федоров В. В. Узел силового динамического нагружения трибосопряжений // Проблемы механики современных машин: сборник трудов VI Международная конференция, Россия, г. Улан-Удэ, оз. Байкал 29 июня - 4 июля 2015.
3. Буханченко С. Е., Пустозеров К. Л., Щербанский А. П., Федоров В. В. Узел скоростного динамического нагружения с устройством регистрации крутящего момента // Проблемы механики современных машин: сборник трудов VI Международная конференция, Россия, г. Улан-Удэ, оз. Байкал 29 июня - 4 июля 2015.
4. Буханченко С.Е., Федоров В.В., Щербанский А.П. Математическое моделирование динамических режимов вращательного и возвратно-вращательного скоростного нагружения торсионных систем // XXVII Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС – 2015): труды конференции, Москва, 2-4 Декабря 2015. – Москва: ИМАШ РАН, 2015 – С. 300 – 303.
5. Буханченко С.Е., Федоров В.В., Щербанский А.П. Математическое моделирование динамических режимов нагружения торсионных систем при вращательном и возвратно-вращательном движениях исполнительного органа // Современное машиностроение: наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 30 июня – 1 июля 2016. – Санкт-Петербург: СПбПУ, 2016 – С.1228-1236.

Список использованных источников

1. Барков А.В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации: учеб. пособие. — СПб.: СПбГМТУ, 2004. — 156 с.
2. Барков А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации: учеб. пособие. — СПб.: СПбГМТУ, 2000. — 159 с.
3. Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды: учебник для вузов. — М.: Изд-во Юрайт, 2013. — 671с.
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие / Н.А. Гаврикова, Л.Р. Тухватулина, И.Г. Видяев, Г.Н. Серикова, Н.В. Шаповалова; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. — 73 с.
5. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. — М.: Энергия, 1990. — 312с.
6. Основы триботехники: учеб. пособие / Ю.М. Лужнов, В.Д. Александров; под ред. Ю.М. Лужнова. — М.: МАДИ, 2013. — 136 с.
7. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. — Томск: Изд. ТПУ, 2008. — 20 с.
8. ГОСТ 12.2.032–78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
9. ГОСТ 17.2.3.02 – 78. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями.
10. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
11. ГОСТ 12.1.046 – 85. Нормы освещенности.
12. ГОСТ 12.2.107 – 85. Допустимые шумовые характеристика.
13. ГОСТ 12.1.004 – 91. Пожарная безопасность. Общие требования.

14. ГОСТ Р 22.0.06 – 95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники природных чрезвычайных ситуаций. Поражающие факторы. Номенклатура параметров поражающих воздействий.
15. СНиП 23–05–95. Нормы проектирования. Естественное и искусственное освещение. – М.: Минстрой России, 1995.
16. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997.
17. СНиП 21–01–97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Гострой России, 1997. – с.12.
18. ГОСТ Р 50948 – 2001. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности.
19. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. Минздрав России, 1998.
20. ГОСТ Р 12.1.019 – 2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

Приложения

Приложение А

INTRODUCTION LITERATURE REVIEW

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8НМ51	Щербанский Александр Петрович		

Консультант проф. кафедры:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ТМСР	Буханченко С.Е.	Канд. техн. наук		

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

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

Introduction

Vibration, as a production factor, occurs in many sectors of economy, such as machine-building, aircraft building and shipbuilding industries. Improvement of technical and economic characteristics of mechanisms and equipment is generally associated with an increase in power and speed of operating modes and, at the same time, with a mass reduction of these mechanisms. It inevitably leads to an increase in vibration indices and to the need to carry out vibrodiagnostic research.

Vibration parameters, in view of their origin, are always determined by the operating mechanism, and the primary vibration transducers used for this purpose are always installed on an outer surface of the examined mechanism. It makes possible to conduct diagnostic work without the need to stop or disrupt the integrity of examined equipment. Moreover, one of the advantages of conducting vibration measurements is their short implementation time, which usually consists of several minutes, sometimes several seconds.

The signals coming from the primary vibration transducers provide the information about the state of diagnosed mechanism: kinematic assemblies and parts, fastening and damping systems, condition of the foundations, quality of the mechanism installation, etc. Furthermore, nowadays the theory and practice of vibration signals processing are so vast and varied that, considering an appropriate processing algorithm, the reliable information about any required parameter can be extracted from the whole set of data contained in a vibration signal (without any distortion and loss).

The great majority of vibration parameters, characterizing the technical state of the mechanism, change their values in a very wide range of quantities. For example, the vibration component, due to the rolling bearing in the mechanism, changes its values throughout the entire operating time of the mechanism in hundreds, and sometimes in thousands of times. In this case, at the stage of defect nucleation, the high sensitivity of vibration transducers is essential to the process of monitoring

changes in the state of the mechanism. It provides a high degree of reliability in predicting the time of maintenance of the mechanism.

Today, there are many different modules and components that make it possible to create vibrodiagnostic equipment which meets the requirements set by its operating conditions.

During the process of writing the final qualification work, a set of control and measuring equipment and software will be developed to study and analyze vibroacoustic signals in order to provide the possibility to track the state of friction machines (units) without the need to determine tribotechnical parameters.

Literature review

As a rule, the work of automatic and automated technical systems and devices starts with the process of measuring any parameters that characterize the state of machine or technological process.

The main function of the transducers providing the measurement process is to transform any physical quantity (input value) into another quantity (output value), in other words into the most convenient physical quantity which is required for the actuating mechanism to read the information.

The process of selecting the transducer depends on the conditions of its use. So, there are following types of transducers used in the vibration measuring systems (vibration monitoring systems): displacement transducers, velocity transducers and acceleration transducers. The first type determines the position of the monitored object, the second one identifies the change of its speed and the third type determines the change of its acceleration. These three parameters that characterize the vibration are interrelated. For example, on the basis of single or double integration, if the vibration acceleration is controlled, it is easy to calculate the other two parameters.

The application of three types of transducers is determined by different frequency responses of the monitored objects. Displacement transducers are widely recognized in the low-frequency range, velocity transducers are usually used in medium frequencies, acceleration transducers, in their turn, can be applied in high frequencies.

The physical meaning of the interconnectedness of quantities can be interpreted as follows: the vibration displacement characterizes the state of deformation of the object, the vibration velocity reflects the degree of fatigue strength and with the help of the vibration acceleration, it's possible to study oscillatory forces acting on the object.

Apart from the differences of transducers, by the measured parameter described above (vibration displacement, vibration velocity and vibration acceleration), they are also divided into:

- By the principle of converting mechanical oscillations into an electrical signal:
 - Optic transducers;
 - Inductive transducers;
 - Piezoelectric transducers;
 - Capacitive transducers;
 - Differential transformer transducers.
- By the number of measured vibration directions:
 - Single-component (measuring vibration on one axis);
 - Two-component (measuring vibration on two axes);
 - Three-component (measuring vibration in three axes).

Optical transducer is a small electronic device, being under the influence of electromagnetic radiation in visible, infrared and ultraviolet ranges, is capable of suppressing a single signal or their combination at the input of the recording or controlling system.

Inductive transducer is a differential choke with symmetrically positioned inductance windings. The operating principle of this transducer is to convert the values of inductance into electrical signal; it also represents the following process: an object made of ferromagnetic material, being in the field of transducer, undergoes the change of its magnetic field, thus leading to the change of the inductance coil.

Piezoelectric transducer is a device, which uses a piezoelectric effect in crystals or ceramics, and it converts mechanical power into electrical power and vice versa.

Capacitive transducer is a parametric type of the transducer, which converts the measured value into the capacitive resistance.

Differential transformer transducer is a measuring transducer that transforms mechanical quantities into a modified coefficient of the transformer conversion,

and into a coefficient of the mutual induction relatively to the primary and secondary winding.

Table 1 – Advantages and disadvantages of displacement transducers

Type of transducer	Advantages	Disadvantages
Optic transducer	<ul style="list-style-type: none"> • Long operating distance up to (20 m); • Low cost; • Compact and cheap design; • Easy-to-install; • Insensitive to parasitic magnetic fields and electrostatic interference. 	<ul style="list-style-type: none"> • High demands to the surface of the detection object; • Low noise immunity from extraneous light; • Low accuracy in determining the transverse position of the object.
Inductive transducer	<ul style="list-style-type: none"> • Non-contact transducer; • Resistant to the effects of non-metallic objects and interference (dust); • Simplicity of design (shape); • Connection to power frequency sources (50 Hz) is possible; • Relatively large output power, not requiring the use of amplifiers; • High sensitivity; • Resistant to mechanical influences. 	<ul style="list-style-type: none"> • Operation only with ferromagnetic materials; • The accuracy depends on the stability of the supply voltage in frequency; • Ability to work only on alternating current.
Piezoelectric transducer	<ul style="list-style-type: none"> • Wide range of operating frequencies; • Low sensitivity to magnetic fields; • Great vibration and impact strength; • Simplicity of design; • Small size and weight. 	<ul style="list-style-type: none"> • Low sensitivity; • Inability to measure static values; • High input resistance of the measuring circuit; • Relatively low output level.
Capacitive transducer	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicity of its manufacture, use of inexpensive materials for manufacture; • Small size and weight; • Low energy consumption; • High sensitivity; • Non-contact transducer; 	<ul style="list-style-type: none"> • Relatively low transfer factor (conversion coefficient); • High requirements for shielding parts; • Need to operate at a high frequency (compared to 50 Hz).

Capacitive transducer	<ul style="list-style-type: none"> • Long service life; • Insignificant efforts to move rotating part of capacitive transducer; • Simple adaptation of the transducer shape to different tasks and structures. 	
Differential transformer (inductive) transducer	<ul style="list-style-type: none"> • High conversion coefficient (it's possible to work without special amplifiers); • Simplicity of design. 	<ul style="list-style-type: none"> • There's a constant component of signal at the output (bridge or differential circuits are used to compensate it) • The occurrence of error in voltage fluctuation, power frequency and temperature.

In the course of the analytical review, the most common design solutions for the implementation of hardware and software for the research of vibroacoustic signals proposed by Russian manufacturers were considered (Table 2).

Table 2 – Vibration analyzers

№ of subparagraph	Manufacturer	Vibration analyzers (according to the number of vibration measuring channels)		
		Single-channel	Dual-channel	Multiple channel
1	«Diamech»	«QUARTZ» / «TOPAZ-B»	«AGATE-M» «ONYX»	«QUARTZ» (in case of using 8-channel expansion module)
2	«Interpribor»	«VIBRAN – 2»		«VIBRAN – 3» (4 channels)
3	«Vibro-Center»		«Diana-2M»	«ViAna-4» (4 channels) «Atlant-8» (8, 16, 32 channels)

As a result of the analytical review of instruments offered on the market, it was found that the most popular instruments are dual-channel vibration analyzers. It stems from the fact that these vibration analyzers are multiple-purpose and inexpensive, they also make possible to conduct quite laborious diagnostic work.

From the above mentioned list of dual-channel vibration analyzers, the most suitable is «Diana-2M» vibration measuring instrument. It's associated with the presence of necessary functions and a wide spectral resolution equal to 51200 lines, against 800 lines offered by «AGAT-M», and as a result, with the possibility to diagnose a large range of defects found in the analyzed mechanisms.

The use of vibration measurement equipment requires the necessity to analyze the received vibroacoustic signals. In this meaning, the analysis is a study of functional dependencies of the measured vibration parameters from one or more independent variables [1]. Usually, in the function of independent variables are used:

- Time;
- Frequency;
- Coordinate space;
- Sequence number in a combination of independent vibration measurements

Based on the list of independent variables, vibration analysis is divided into the following types:

- 4) Vibration analysis in the time domain
- 5) Vibration analysis in the frequency domain;
- 6) Multiparameter vibration analysis.

Each of types is subdivided into subtypes:

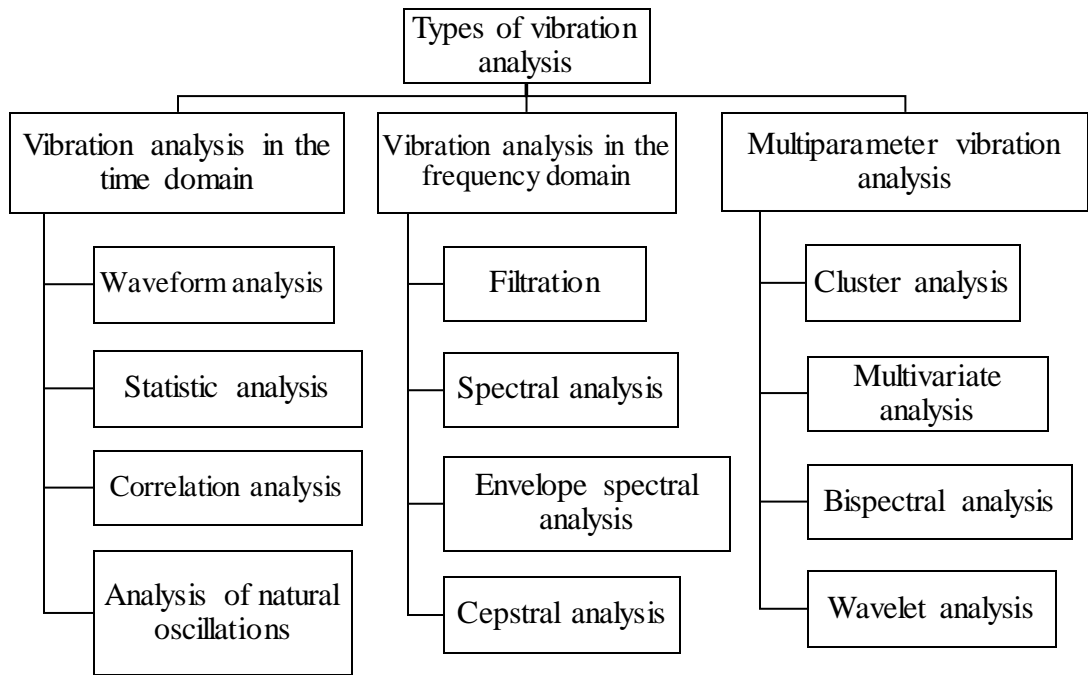


Figure 1 – Types of vibration analysis

The vibration analysis, performed within the framework of this graduate qualification work, will determine the friction modes inherent in the operation of real machinery and machines, due to the lubricant. At the moment, the following friction modes are distinguished by the presence of the lubricant:

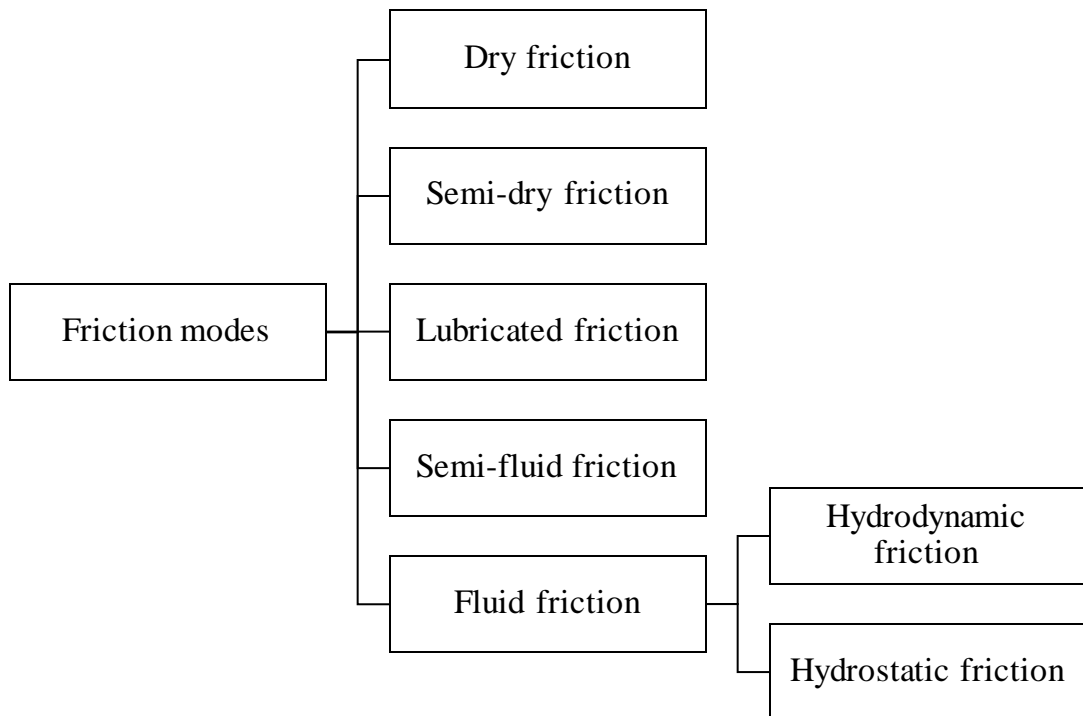


Figure 2 – Friction modes

Dry friction is a friction that occurs when there is no lubricant at the place of contact of rubbing surfaces. It differs by the largest coefficient of friction, which is usually 0.2 ... 0.5. This friction mode is applied for brakes, dry clutches, belt and dry friction gears [2].

Semi-dry friction is a mixed friction, in which there is a lubricated friction in some parts of the contact area, along with the predominant dry friction. This type of friction is typical for threaded joints, clamping surfaces [the same].

Lubricated friction is a friction, which occurs in the presence of thin layers of lubricant ($0, 1 \geq [\mu]_M$). In this case, the coefficient of friction is less than in the dry friction and usually it reaches values of 0.05 ... 0.1. The phenomenon of lubricated friction is typical for bearings operating at low speeds, for most guides, variators and gears [the same].

Semi-fluid friction is a friction, which combines fluid and lubricated frictions. Generally, it occurs in slow-moving bearings, which are bearings and guides, as well as at the moment of starting and stopping the bearings of fluid friction [the same].

Hydrodynamic friction is a friction, in which the lubricant is entrained in the gap between friction surfaces and creates there a hydrodynamic pressure that completely balances an external load. This mode of friction occurs in bearings and guides, which operate at high speeds [the same].

Hydrostatic friction is a friction, in which a lubricant, being under the pressure, is delivered to the place of contact of friction surfaces. Hydrostatic friction is applied at low speeds insufficient to hydrodynamic friction to reduce the friction torque and the wear at the moment of starting mechanisms [the same].

Taking the above into account, it can be said that the various friction modes occurring in operating mechanisms are characterized by different tribotechnical and, as a consequence, vibration characteristics.