

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Отделение школы Отделение машиностроения (ОМШ)

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

Исследование демптирующих свойств материалов

УДК 620.178.311.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Хамидов Бобуржон Хамид угли		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Гаврилин А.Н.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Антоневич О.А.	к.б.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 15.04.05 Машиностроение	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Мартюшев Н.В.	к.т.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критерии и/или заинтересованных сторон
Профессиональные компетенции		
P1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для создания нового технологического оборудования и машин.	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК2, 3). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P2	Применять глубокие знания в области современного машиностроительного производства для решения междисциплинарных инженерных задач	Требования ФГОС ВО (ПК-1-4). Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с созданием и обработкой новых изделий с использованием системного анализа и моделирования объектов машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-5-9). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P4	Разрабатывать и использовать новое оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ПК-15-17). Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P5	Проводить теоретические и модельные исследования в области машиностроительного производства	Требования ФГОС ВО (ОПК 1, ПК16). Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P6	Внедрять и обслуживать современные высокотехнологические линии автоматизированного производства, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО (ОК-2, ПК-9, ПК-11, 12, 13, 14). Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Универсальные компетенции		
P7	Использовать глубокие знания для инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС ВО (ОПК-4, ПК2, ПК-3, ПК-13, ПК-14, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P8	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОПК-3, ОПК-4, ПК-13, ПК-18). Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
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 (ОПК-1, ПК18). Критерий 5 АИОР (п. 2.13), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P10	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов, компетентность в вопросах устойчивого развития	Требования ФГОС ВО (ОК-2). Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI
P11	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-3). Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Отделение школы Отделение машиностроения (ОМШ)

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Н.В. Мартюшев
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4HM01	Хамидов Бобуржон Хамид угли

Тема работы:

Исследование демпфирующих свойств материалов

Утверждена приказом директора (дата, номер) № 38-25/с от 07.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:

25.05.2022

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<p>1.Выполнить классификацию материалов, обладающих демпфирующими свойствами и определить материалы для исследования.</p> <p>2.Выполнить обзор методом исследования демпфирующих свойств материалов.</p> <p>3.Разработка принципиальной схемы устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.</p> <p>4.Разработка конструкции устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.</p> <p>5.Построение математической модели устройства исследования демпфирующих свойств материалов.</p> <p>6.Теоретическое исследование демпфирующих</p>
---------------------------------	---

	<p>свойств выбранных материалов.</p> <p>7.Сравнительный анализ результатов математического моделирования с использованием каждого материала.</p> <p>8.Сравнительный анализ результатов, полученных путем проведения исследований демпфирующих свойств материалов с использованием разработанного устройства.</p>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<p>1. Обзор существующих методов исследования демпфирующих свойств материалов.</p> <p>2. Разработка принципиальной схемы устройства.</p> <p>3. Приведение методики расчета устройства.</p>
Перечень графического материала	Презентация, выполненная в MS Power Point.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Рыжакина Татьяна Гавриловна, доцент ОСГН, к.э.н.
«Социальная ответственность»	Антоневич Ольга Алексеевна, доцент, к.б.н.
"Иностранный язык"	Зяброва Наталия Николаевна, доцент, к.ф.н
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Информационно-аналитический обзор	
Объект и методы исследования	
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Гаврилин А.Н.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Хамидов Бобуржон Хамид угли		

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Отделение школы Отделение машиностроения
Период выполнения 2020/2021 – 2021/2022 учебные годы

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	25.05.2022
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.11.2020	Обзор источников информации	10
29.11.2020	Формулирование целей и задач работы, формулирование предмета и объекта разработки	5
30.06.2021	Проведение инженерных расчетов, разработка конструкции объекта	20
25.12.2021	Разработка плана исследования и его проведения, интерпретация результатов исследования	20
14.05.2022	Анализ полученных результатов и выводы о достижении цели в основном разделе ВКР	5
14.05.2022	Разработка разделов «Социальная ответственность», «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», "Иностранный язык"	10
20.05.2022	Оформление ВКР и презентационных материалов	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Гаврилин А.Н.	К.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 15.04.05 «Приборостроение»	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ	Мартюшев Н.В.	К.т.н.		

РЕФЕРАТ

Данная выпускная квалификационная работа содержит 112 с., 30 рисунков, 32 таблицу, 22 источников, 1 приложений.

Ключевые слова: демпфирующие свойства, материалы, алюминиевый сплав АМг6, Сталь 40Х, вибрация, параметры вибрации, устройство.

Объектом исследования являются материалы: Сталь 40Х, АМг6, БрС30, имеющие повышенные демпфирующие свойства.

Предметом исследования являются демпфирующие свойства материалов Сталь 40Х, АМг6, БрС30.

Цель работы – исследование демпфирующих свойств материалов методами: математическим моделированием и проведением экспериментов с помощью устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.

В результате исследования были получены данные, описывающие демпфирующие свойства материалов Сталь 40Х, АМг6, БрС30. Выявлен материал обладающие наиболее выраженными демпфирующими свойствами.

Конструкция устройства для исследования демпфирующих свойств материалов было собрана на производственной лаборатории с целью проведения экспериментов и сравнения результатов экспериментов с результатами, полученными в процессе математического моделирования.

В процессе исследования проводились: разработка математической модели устройства для исследования демпфирующих свойств, а также на основе анализа полученных данных получены графики АФЧХ, в случае исследования каждого рассматриваемого материала.

Область применения: виброзащита технологического оборудования, инструмента или механизмов.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Демпфер — специальное устройство для гашения или демпфирования вибраций, или предотвращения случайных колебаний, возникающих в различных технологических установках при выполнении своего функционального назначения.

Вибрация — это механические колебания машин и механизмов, которые характеризуются такими параметрами, как частота, амплитуда, колебательная скорость, колебательное ускорение.

Пружина — элемент воспринимающий, накапливающий и возвращающий накопленную механическую энергию.

ПО – программное обеспечение;

SWOT анализ – S-сильные стороны, W-слабые стороны, O-возможности, T-угрозы.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003 – 2015 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
3. СанПиН 2.2.4.548 – 96. «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
4. ГОСТ 30494 – 2011. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
5. СН 2.2.4/2.1.8.562 – 96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».
6. СНиП 23 – 05 – 95. «Естественное и искусственное освещение».
7. ГОСТ 12.1.004 – 91 ССБТ. «Пожарная безопасность».

Оглавление

Введение.....	12
1 Информационно-аналитический обзор.....	15
1.1 Классификация материалов для исследования демпфирующих свойств	15
1.1.1 Материалы с высокой гетерогенностью структуры	15
1.1.2 Материалы с магнитными доменами	16
1.1.3 Материалы с термоупругим мартенситом.....	17
1.1.4 Выбранные материалы	18
1.2 Стандарты исследования демпфирующих свойств материалов	19
1.3 Методы исследования демпфирующих свойств материалов	20
1.3.1 Акустический метод	20
1.3.2 Динамический метод	22
1.3.3 Механический метод.....	23
1.3.4 Выбранный метод исследования	25
2 Объект и методы исследования	26
2.1 Принципиальная схема и принцип работы устройства	26
2.2 Методика расчета	29
3. Расчеты и аналитика	30
3.1 Метод математическое моделирование	30
3.1.1 Цель исследования	31
3.1.2 Методика проведения исследования.....	32
3.1.3 Подбор и расчет параметров для проведения исследования.....	33
3.1.4 Составление математической модели.....	37
3.1.5 Структурная схема для расчета одномассовой схемы	38
3.1.6 Результаты проведенного математического моделирования	39

3.1.7 Спектральный анализ.....	41
3.1.8 Амплитудно-фазовые частотные характеристики.....	43
3.1.9 Описание результатов математического моделирования.....	46
3.2 Экспериментальная часть.....	47
3.2.1 Устройство и принцип работы.....	47
3.2.2 Результаты проведения экспериментов	48
4. Выводы по результатам сравнения расчетов математического моделирования и проведенных экспериментов	52
5 «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ».....	54
5.1 Введение.....	55
5.2 Анализ конкурентных технических решений	56
5.3 SWOT-анализ.....	57
5.4 Планирование научно-исследовательских работ.....	59
5.5 Организационная структура проекта	64
5.6 Бюджет исследовательской работы	66
5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	71
5.8 Оценка сравнительной эффективности исследования	76
6 «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	80
6.1 Введение.....	82
6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	83
6.4 Анализ выявленных вредных и опасных факторов	86
6.5 Экологическая безопасность	92
6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	94

Заключение	95
Список литературы:	96
ПРИЛОЖЕНИЕ А	99

Введение

Различное оборудование, станки или машины в процессе работы излучают вибрацию, которая негативно влияет как на саму работу оборудования, так и на изготовление деталей. Воздействие вибрации на различное оборудование, станки или машины приводит к усталостному разрушению их узлов или деталей, что прямым образом влияет на срок работы. Также вибрация оказывает негативное влияние на режущий инструмент при работе станка. Во время изготовления детали, при высоком уровне вибрации точность получаемых размеров и стойкость режущего инструмента могут снижаться [1].

Для снижения негативного влияния параметров вибрации на оборудование, станки или машины применяются различные методы виброзащиты, которые бывают конструкционные и технологические.

Реализация конструкционных методов виброзащиты обеспечивается путем установки объекта виброзащиты на различные опоры, выполненные из специальных виброизолирующих материалов, либо размещают их на специальных виброзащитных системах, позволяющих снижать уровень вибрации. Однако различные виброзащитные устройства зачастую имеют большие габаритные размеры, поэтому их применение ограничено, в связи с этим существует необходимость решения данной проблемы.

Реализация технологического метода виброзащиты обеспечивается путем регулировки режимов работы оборудования, коррекция режимов СОЖ и т.д. [1]

Один из вариантов решений для снижения уровня вибрации, это изготовление элементов оборудования путем наплавки (на приспособление, корпус инструмента и др.) слоев материалов с повышенными демпфирующими свойствами, либо покрытий, выполненных из материалов, имеющих высокие демпфирующие свойства, которые будут эффективно снижать высокий уровень вибрации.

Актуальность:

Данная работа является актуальной, поскольку результаты проведенных исследований помогут решить задачу по снижению негативного влияния вибрационного воздействия на различное оборудование, станки, машины, режущий инструмент и др.

Проведение данной работы направлено на исследование демпфирующих свойств материалов с целью использования полученных результатов в будущем, в качестве наплавки на поверхность режущего инструмента, для снижения уровня вибрации, повышения точности изготовления деталей и повышения качества механической обработки или использования для изготовления демпфирующих опор для технологического оборудования.

Теоретическая значимость результатов ВКР

Разработана математическая модель устройства для проведения исследования демпфирующих свойств материалов.

Практическая значимость результатов ВКР

Выявлены материалы с оптимальными демпфирующими свойствами, которые в последствии могут применяться конструкторами и другими организациями в целях снижения уровня вибрационного воздействия на оборудование или инструмент. Разработано готовое устройство для исследования демпфирующих свойств материалов.

Цель работы:

Исследование демпфирующих свойств материалов методами: математическим моделированием и проведением экспериментов с помощью устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.

Для достижения поставленной цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить классификацию материалов, обладающих демпфирующими свойствами и определить материалы для исследования.
2. Выполнить обзор методом исследования демпфирующих свойств материалов.

3. Разработка принципиальной схемы устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.

4. Разработка конструкции устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.

5. Построение математической модели устройства исследования демпфирующих свойств материалов.

6. Теоретическое исследование демпфирующих свойств выбранных материалов.

7. Сравнительный анализ результатов математического моделирования с использованием каждого материала.

8. Сравнительный анализ результатов, полученных путем проведения исследований демпфирующих свойств материалов с использованием разработанного устройства.

9. Сравнение результатов исследования демпфирующих свойств выбранных материалов проведенного методом математического моделирования и при использовании разработанного устройства.

1 Информационно-аналитический обзор

1.1 Классификация материалов для исследования демпфирующих свойств

Рассмотрим основные материалы, которые могут быть использованы для исследования демпфирующих свойств материалов, такие как: Материалы с высокой гетерогенностью структуры, Материалы с магнитными доменами, Материалы с термоупругим мартенситом [2-4].

1.1.1 Материалы с высокой гетерогенностью структуры

К таким материалам относятся: серые чугуны, стали, псевдосплавы на металлической основе, сплавы на основе алюминия и бронзы, высокопористые материалы и пенометаллы [2].

Основной механизм гашения вибраций у материалов с высокой гетерогенностью структуры разделен на три части: 1) пластическая деформация «мягкой» структурной составляющей – легкая деформируемость одной из фаз в структуре материала приводит к изменению напряженного состояния структуры; 2) эффект гашения колебаний в результате внутреннего трения в структуре; 3) местная (или локальная) деформация структуры вблизи имеющихся концентраторов напряжений.

Также в ряде работ упоминается о вкладе магнитномеханического механизма демпфирования в ферромагнитных материалах, таким образом за счет намагниченности ферритной фазы эффект гашения вибраций происходит более эффективно [2].

Процесс демпфирования сильно зависит от формы и механических свойств фаз. У фаз сферической формы, как например, шаровидный графит в высокопрочных модифицированных чугунах, упругопластическая деформация происходит по межфазной границе при появлении касательных напряжений в значениях выше предела текучести материала.

Если же увеличивается разница между механическими свойствами фаз, входящими в состав структуры, происходит процесс торможения пластического сдвига в «мягких» фазах, а «твёрдая» фаза ослабляется возникающей

концентрацией напряжений по межфазной границе, что вызывает пластическое течение [2].

Если же механические свойства «мягкой» и «твердой» фаз близки по своим значениям, то пластическое течение возникает в первую очередь в «твердой фазе».

Исследованные материалы из этой группы обладают более выраженным демпфирующими свойствами.

1.1.2 Материалы с магнитными доменами

К таким материалам относятся: сплавы на основе железа, сплавы на основе кобальта и никеля, аморфные магнитомягкие материалы [3].

Данный механизм демпфирования колебаний происходит за счет наличия в структуре материала магнитных доменов и особенного кристаллического строения материала.

Домен — макроскопическая область в магнитном кристалле, состоящая из огромного числа упорядоченных атомов, которую можно поляризовать до требуемых значений.

За счет данных особенностей существует возможность управления демпфирующей способностью и прочностными характеристиками материала, путем проведения термической обработки и изменением химического состава.

При приложении напряжений в ферромагнитной фазе материала происходит смещение границы домена против силы, возвращающей ее к первоначальному положению. Когда граница домена достигает положения, где сила возвращения имеет максимальное значение, положение становится неравновесным и граница домена смещается в новом направлении. Этот сдвиг получил название скачок Баркгаузена. В полидоменных ферромагнитных материалах перемещения границ домена вызывают баркгаузеновский шум и необратимое изменение доменной структуры. В процессе изменения происходит рассеяние энергии [3].

Материалы этой группы имеют сложный механизм демпфирования, требующий особых условий, например, особенного кристаллического строения материала.

1.1.3 Материалы с термоупругим мартенситом

К таким материалам относятся: нитинолы, медноалюминиевые, медноцинковые и меднооловянные сплавы [3].

Демпфирующая способность данных материалов проявляется за счет обратимых процессов фазовых переходов и наличия упругого двойникования у материала.

Двойникование – образование областей с зеркально-изменённой кристаллической решеткой в определенной плоскости путем проворота решетки вокруг оси, либо на определенный угол, либо любым другим преобразованием симметрии [4].

Мартенситное превращение является либо частично, либо полностью обратимым за счет термоупругого превращения. В процессе образования мартенсита внутри исходной высокотемпературной фазы происходит возникновение упругой и поверхностной энергии. Если рост кристаллов мартенсита не сопровождается пластической деформацией, то мартенситное превращение является полностью обратимым процессом. Температурный диапазон между превращениями небольшой, порядка 20 градусов Цельсия, и при обратном превращении полностью восстанавливается структура высокотемпературной фазы. В области фазового превращения кристаллическая решетка становится неустойчивой и возникают пластические деформации и процесс рассеяния энергии. Фазовый переход сопровождается ростом внутреннего трения в структуре, которое не зависит от частот колебания. Характерным признаком является «размягчение» модуля упругости E фаз в районе фазового перехода, что приводит к возникновению большой разницы между модулями упругости ΔE [4].

Материалы этой группы для проявления демпфирующих свойств требуют дополнительного термического воздействия, что ограничивает их применение.

1.1.4 Выбранные материалы

На основании рассмотренных материалов можно сделать вывод, что все они обладают собственным механизмом демпфирования, а также собственными механическими свойствами.

1) Материалы с высокой гетерогенностью структуры обладают более выраженным демпфирующими свойствами так как, за счет намагниченности ферритной фазы эффект гашения вибраций происходит более эффективно.

2) Материалы с магнитными доменами имеют сложный механизм демпфирования, требующий особых условий, такого как особенного кристаллического строения материала.

3) Материалы с термоупругим мартенситом для проявления демпфирующих свойств требуют дополнительного термического воздействия, что ограничивает их применение.

Таким образом целесообразно исследовать материалы с высокой гетерогенностью структуры с выраженным демпфирующими свойствами. К таким материалам относятся стали, алюминиевые сплавы, бронзовые сплавы.

Поэтому в качестве материалов образцов в работе исследованы: Сталь 40Х, АМг6, БрС30.

1.2 Стандарты исследования демпфирующих свойств материалов

Для измерения характеристик демпфирующей способности (или внутреннего трения) материалов существуют следующие нормативные документы:

- ГОСТ Р 53190-2008 (МЭК 60068-2-81:2003) «Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на удар с воспроизведением ударного спектра» [5].
- ГОСТ ИСО 10112-2002 «Материалы демпфирующие. Графическое представление комплексных модулей упругости» [6].

Однако данные методы не всегда возможно использовать для оценки демпфирующих свойств материалов, так как они реализуются только для определенной группы воздействий, либо на акустические вибрации, что имеет различия при сопоставлении с механическими вибрациями.

1.3 Методы исследования демпфирующих свойств материалов

Существуют различные методы исследования демпфирующих свойств материалов, такие как: акустический метод, динамический метод и механический метод [7].

1.3.1 Акустический метод

Акустические колебания формируются под воздействием механических колебаний и легко распространяются в упругих средах [7].

Акустические колебания могут быть слышимые и неслышимые. Колебания в диапазоне от 16 Гц до 20 кГц, называются звуковыми, так как воспринимаются человеком, а с частотой менее 16 Гц – инфразвуковыми, выше 20 кГц – ультразвуковыми. Распространяясь в пространстве, звуковые колебания создают акустическое поле [7].

Колебания, приведенные на рисунке (Рис. 1.3.1.1) характеризуются следующими параметрами колебаний: амплитудой; скоростью; ускорением; периодом; частотой.

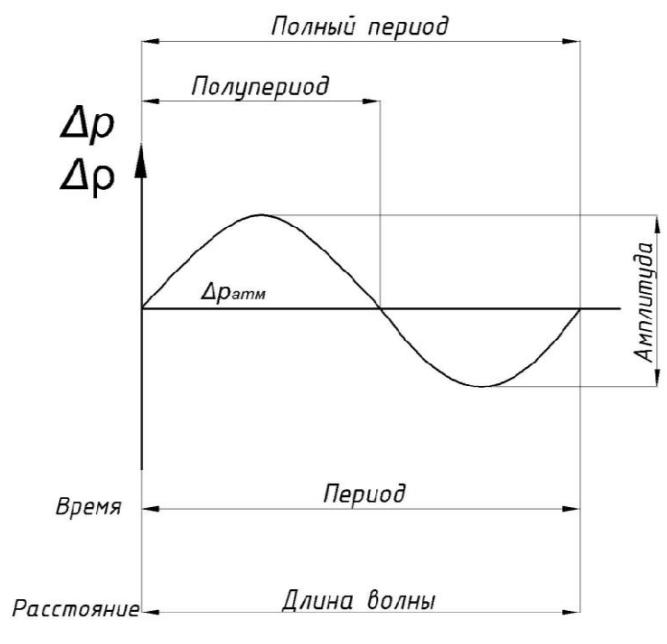


Рисунок 1.3.1.1 – Характеристики волны

Для определения демпфирующих свойств материалов можно применить акустический метод. Акустический метод, представленный на рисунке

(Рис.1.3.1.2), заключается в измерении скорости затухания вынужденных колебаний различных материалов.



Рисунок 1.3.1.2 – Акустический метод

Для проведения данного исследования способом листовой штамповки изготавливаются образцы в виде стакана, либо колокола с отверстием в нижней части. Образец подвешивается и с помощью стержня на поверхности создаются вынужденные звуковые колебания. Далее определяется время затухания колебаний до полной остановки. На основании данных замеров определяются характеристики демпфирующей способности материалов и диапазон ее изменений от структуры и состояния. Чем быстрее колебания затухают, тем выше демпфирующая способность материала, и наоборот [7].

Достоинствами применения акустического метода являются: легкость в исполнении, простота применения

Недостатками метода являются: сложность при фиксации скорости акустических колебаний на определенных частотах, относительная неточность при фиксации, получаемых данных.

1.3.2 Динамический метод

Динамический метод исследования демпфирующих свойств материалов заключается в оценке динамических характеристик конструкций от их степени предварительного напряжения. В зависимости от напряженно-деформированного состояния в конструкции можно возбуждать колебания путем бросания груза на поверхность конструкции или путем быстрого снятия нагрузки с конструкции. В момент нагружения-разгружения фиксируются колебания, например, посредством прогибомера, и по максимальным отклонениям можно судить о величине коэффициента гашения энергии и декременте затухания колебаний. В качестве примера, представленного на рисунке (Рис.1.3.2.1), рассматривается вариант прогиба мостового пролета и его замер [7].

Данный метод имеет ограничения: прогиб должен происходить в пределах напряжений, не вызывающих образование трещин в конструкции.

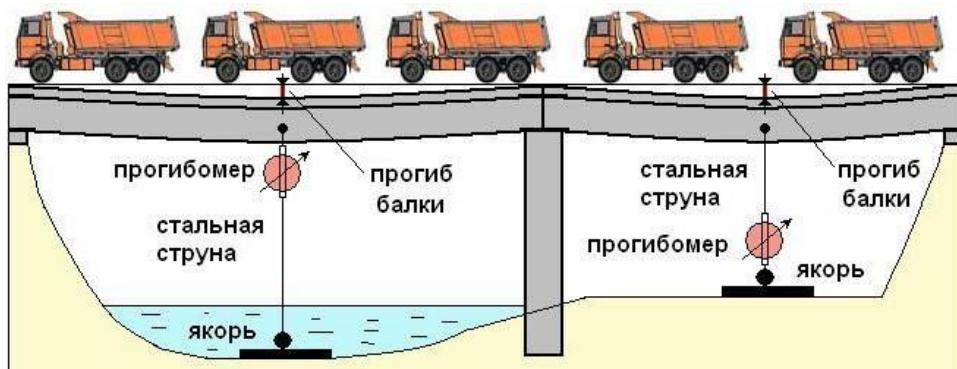


Рисунок 1.3.2.1–Метод расчета по прогибу

Достоинствами динамического метода исследования являются: высокая точность получаемых данных, широкая возможность реализации, легкость в исполнении, простота применения.

Недостатками динамического метода является ограниченная рабочая зона.

1.3.3 Механический метод

Механический метод исследования демпфирующих свойств материалов применяется для оценки демпфирующей способности материалов по акустическим вибрациям. Метод заключается в фиксации максимальных и минимальных пиковых показаний шумометра (либо по среднеарифметическим показаниям, либо по октавным, в зависимости от требований к проведению замеров), установленного внутри шумо- и виброизолированного цилиндрического устройства, показанного на рисунке (Рис.1.3.3.1). Внутрь устройства устанавливается исследуемый образец материала, на который оказывается механическое воздействие, а именно ударная нагрузка фиксированной массы с измеренной высоты, вызывающая колебания, которые измеряются акустическим прибором [7].

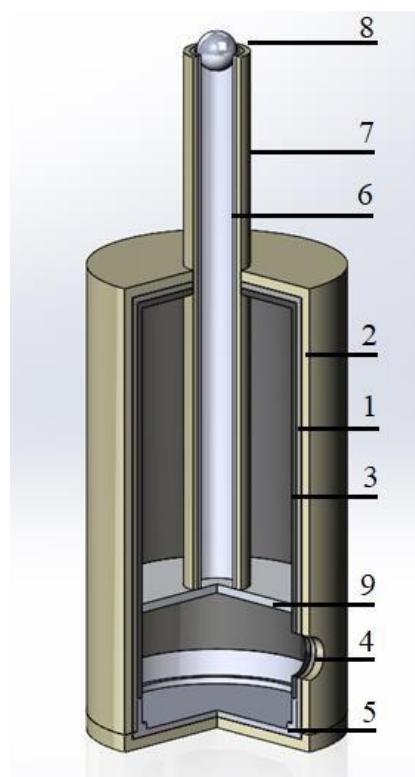


Рисунок 1.3.3.1 – 3D модель предлагаемой установки:

1 – корпус, 2 – шумоизоляция, 3 – виброизоляция, 4 – отверстие для шумометра, 5 – нижняя крышка, 6 – трубка, 7 – шумоизоляция трубки, 8 – шарик, 9 – образец

Лабораторная установка (Рис.1.3.3.1) устроена следующим образом. Имеется корпус 1 в виде вытянутого цилиндра, с внешней и внутренней стороны которого находится шумоизоляция 2 и виброизоляция 3. Отверстие 4 предназначено для установки шумометра. Внутрь корпуса помещаются образцы 9 в различном количестве, над и под шумометром, что изображено на рисунке (Рис. 1.3.3.2) 1.4. После чего через верхнее отверстие корпуса помещается трубка 6 в шумоизоляции 7. Воздействие на образцы производится с помощью шарика 8, падающего с нулевой начальной скоростью с высоты трубы 6 [7].

Шумометр фиксирует минимальный и максимальный уровень шума (в дБ) при падении шарика. Разность этих значений показывает уровень акустических вибраций (вынужденные колебания) каждого образца при воздействии на него. Соответственно, чем больше разность значений, тем лучше демпфирующая способность материала [7].

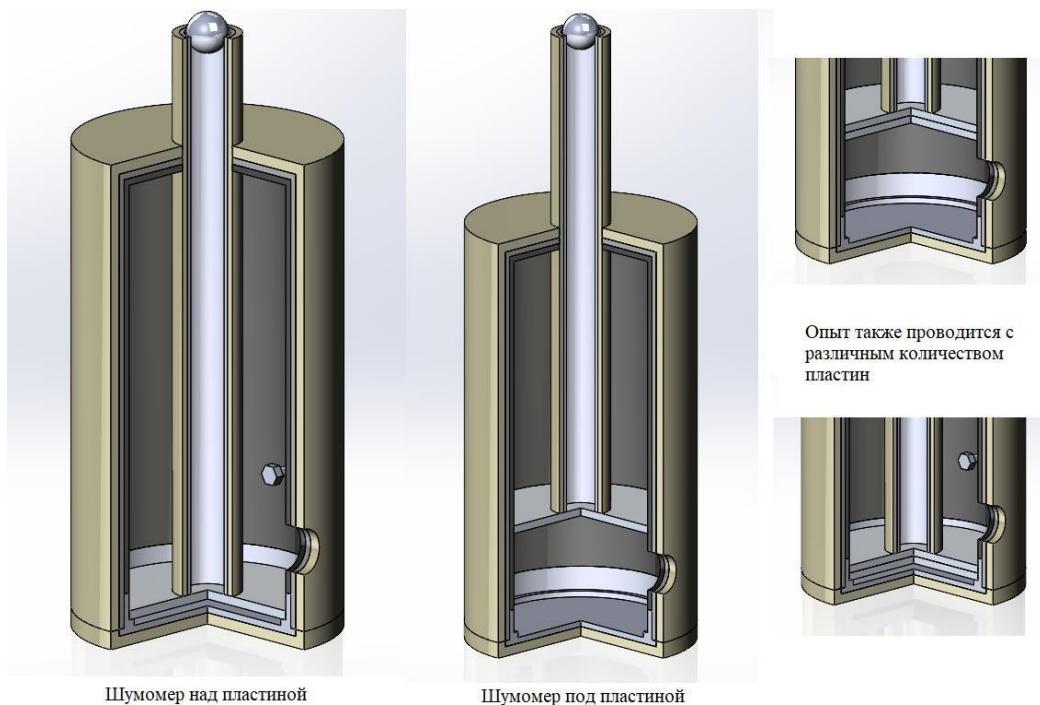


Рисунок 1.3.3.2 – Схемы проведения опыта

Достоинства механического метода заключаются в относительно высокой точности измерений.

Недостатками механического метода являются: сложность в исполнении, относительная сложность при фиксации получаемых результатов, большое количество комплектующих для устройства.

1.3.4 Выбранный метод исследования

Из рассмотренных выше методов исследования демпфирующих свойств материалов, таких как: акустический метод, динамический метод и механический метод, наиболее предпочтительно применять при исследовании динамический метод, поскольку он обладает большинством достоинств, таких как: высокая точность получаемых результатов, широкая возможность реализации, легкость в исполнении, простота применения. В свою очередь акустический и механический метод не обладают высокой точностью получаемых результатов, а также более сложны в исполнении, по сравнению с динамическим методом.

Таким образом в данном исследовании используется динамический метод исследования демпфирующих свойств материалов.

2 Объект и методы исследования

Объект исследования: Образцы, с наплавкой материалов, Сталь 40Х, АМг6, БрС30, обладающие демпфирующими свойствами.

Методы исследования: Математическое моделирование работы устройства и динамический метод проведения экспериментов по исследованию демпфирующих свойств материалов.

2.1 Принципиальная схема и принцип работы устройства

Традиционно для определения демпфирующих свойств материалов и узлов применяется оценка по декременту затухания, подразумевающая некоторое импульсное воздействие на испытуемый образец. Однако этот метод не всегда применим, т. к. требуется образец достаточно больших размеров, а также возникновения погрешности при измерении. Следует отметить, что при изготовлении деталей методом наплавки, аддитивной технологии или других способов испытуемый образец может иметь недостаточных геометрических размеров. Поэтому для определения демпфирующих свойств материалов необходимо универсальное устройство, способное с высокой достоверностью определять указанные свойства в широком диапазоне частот и малых геометрических размеров образца при различных способах нагружения (сжатие, изгиб, кручение) [8].

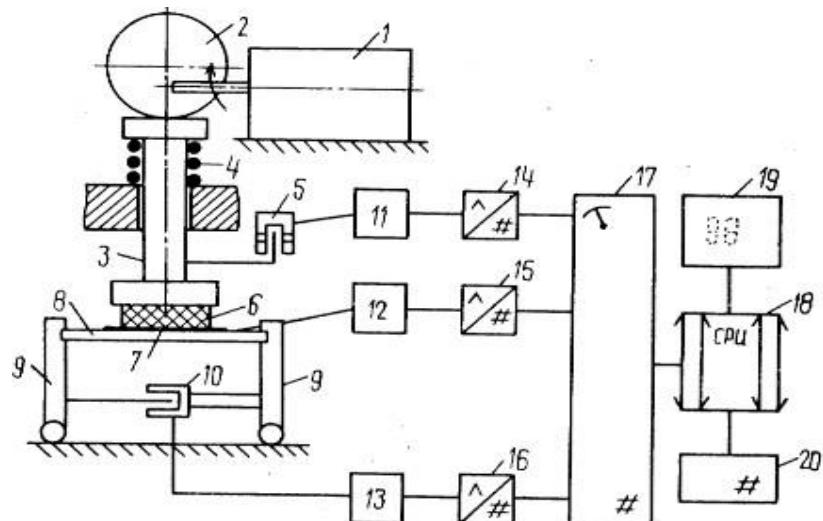


Рисунок 2.1.1 – Устройство для определения демпфирующих свойств материалов

Испытываемый образец – 6 определённых геометрических размеров устанавливается между толкателем – 3 и компенсирующей пружиной – 8. Пружина –4 прижимает толкатель к кулачку – 2.

Принцип работы устройства для определения демпфирующих свойств материалов (Рис.2.1.1) [8], следующий: при включении привода – 1 кулачок сообщает возвратно-поступательное движение толкателью – 3, который воздействует на образец – 6. Датчик – 5 регистрирует виброперемещение толкателя – 3. Деформация компенсирующей пружины, жёсткость которой на два–три порядка больше жесткости образца, регистрируется датчиком усилия – 10.

Данные от указанных датчиков передаются через АЦП – 11, 12, 13 на усилители – 14, 15 ,16 и далее через соответствующий интерфейс – 17 на ЭВМ – 18. Значения виброперемещения и силы, по которым определяется коэффициент демпфирования, анализируются на ПК.

Для определения демпфирующих свойств может использоваться методика, предложенная А.С. Глазыриным в работе [9], по идентификации значений параметров вибрации (виброперемещения и виброскорости). Следует отметить сложность реализации такой установки и сложность ее настройки, поэтому в дальнейшем установка была модифицирована (Рис. 2.1.2).

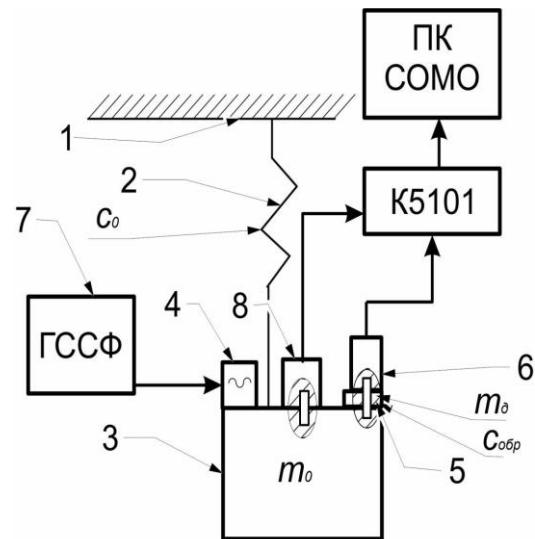


Рисунок. 2.1.2 – Устройство для определения демпфирующих свойств материалов: 1 – корпус, 2 – пружина, 3 – масса, 4 – генератор электромеханический, 5 – испытуемый образец, 6, 8 – акселерометры, 7 – генератор сигналов специальной формы

На рисунке (Рис.2.1.3) приведены формы измеренных сигналов: а) от входного акселерометра – 8, установленного на массе – 3; б) от акселерометра – 6, установленного на испытуемом образце – 5.

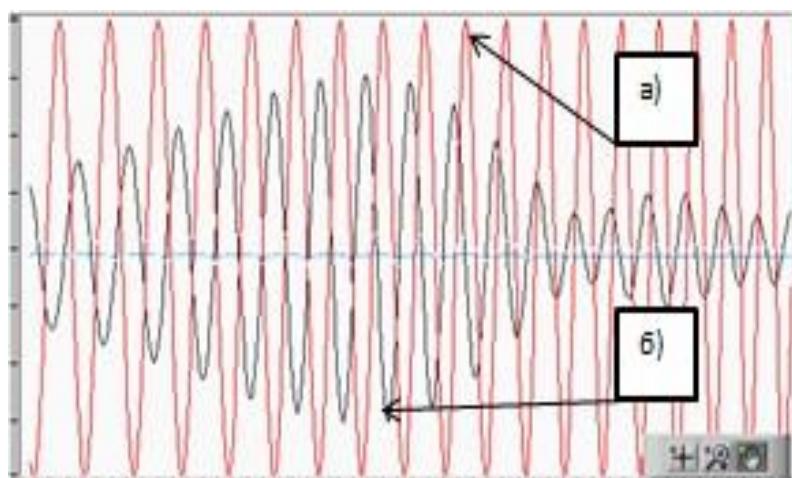


Рисунок 2.1.3 – Формы измеренных сигналов: а) входного от акселерометра – 8; б) от акселерометра – 6, установленного на испытуемом образце – 5.

Испытуемый образец заданных размеров – 5 устанавливается на массе – 3, которая через пружину – 2 крепится к корпусу – 1. Возбуждение колебаний

массы – 3 осуществляется электромеханическим генератором – 4, при этом возбуждаемая (входная) вибрация измеряется акселерометром – 8, а вибрация, передаваемая на образец – 5, – акселерометром – 6. Данные от акселерометров – 6, 8 передаются на виброизмерительный комплекс К-5101 и ПК с СПМО «Виброрегистратор-М» [10,11] для последующего анализа.

Особенность данной схемы состоит в том, что жесткость пружины – 3 и масса основания – 2 образуют колебательную систему, собственная частота которой на два порядка меньше частоты возбуждения генератором – 4, используемой для определения демпфирующих свойств образца.

2.2 Методика расчета

Для получения АЧХ на вход электромеханического генератора подается напряжение в виде свип-сигнала, при этом возникающие на основании вибрации будут иметь тот же закон изменения частоты:

$$A(t) = A(w) \cdot \sin(u \cdot \tau) \quad (2.2.1)$$

где u – скорость изменения частоты возбуждения ($\text{Гц}/\text{с}$); τ – текущее время (с);

$$A(w) = \frac{F_{\text{возб}}}{m_{\text{осн}} \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{\Omega_{\text{осн}}}{2 \cdot \pi}\right)^2 - f_{\text{возб}}^2\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\varsigma_{\text{осн}}}{\Omega_{\text{осн}}}\right)^2 \cdot f_{\text{возб}}^2}}$$

$A(w)$ – амплитуда вибрации массы – 3 ($\text{мкм}, \text{мм}/\text{с}, \text{м}/\text{с}^2$).

$F_{\text{возб}}$ – сила возбуждения от электромеханического генератора в текущий момент времени (Н); $m_{\text{осн}}$ – масса основания (кг);

$$\Omega_{\text{осн.}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c_{\text{осн.}}}{m_{\text{дат}}}} \quad (2.2.2)$$

$\Omega_{\text{осн.}}$ – собственная частота основания ($\text{рад}/\text{с}$); $f_{\text{возб}}$ – текущая частота возбуждения (Гц); $\varsigma_{\text{осн}}$ – безразмерный коэффициент демпфирования основания.

Для получения АЧХ необходимо соблюдать условия: скорость изменения частоты возбуждения и не должна превышать значений 50–100 Гц/с; максимальная величина времени свип-сигнала τ – не более 50 с, а также выполнение зависимости (2.2.3) [12].

$$\frac{f_{\text{возб}}}{\frac{\Omega_{\text{ОСН}}}{2 \cdot \pi}} = 20 \dots 100 \quad (2.2.3)$$

При изменении частоты возбуждения в пределах $f_{\text{возб}} = 12\text{--}5000$ Гц в колебательной системе испытуемого объекта возникает резонанс на частотах, определяемых геометрическими параметрами [12].

Приведенная методика и устройство для определения демпфирующих свойств материалов позволяет производить экспресс-анализ многослойной многокомпонентной металлической наплавки для уточнения состава ее компонентов и толщины слоя в производственных условиях.

3. Расчеты и аналитика

3.1 Метод математическое моделирование

В современном мире математическое моделирование – это идеальное научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов. Можно сказать, математическое моделирование дает возможность получения информации об объекте путем проведения экспериментов с его моделью, и оптимизировать различные параметры. Существует различные программы для математического моделирования. В ходе курсовой работы были использованы: программное обеспечение Matlab для моделирования и исследование одномерной динамической системы.

3.1.1 Цель исследования

Цель исследования:

Методом математического моделирования составить математическую модель работы устройства для исследования демпфирующих свойств материалов; провести исследование динамической системы и получить результаты.

В работе представлены результаты математического моделирования динамического процесса воздействия вибрации на образцы с наплавкой выбранных материалов с использованием специального устройства. Схема одномассовой системы представлена на рисунке (рис. 3.1.1.1).

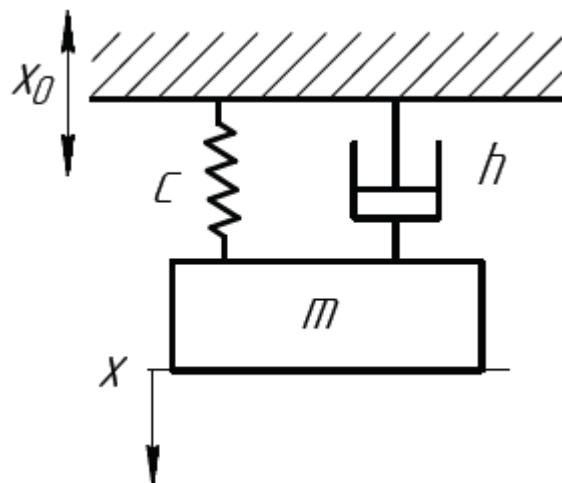


Рисунок 3.1.1.1 Схема одномассовой системы.

Таблица 3.1.1.1 Характеристики составных частей схемы

Составные части и характеристики	
m	Масса включающая: основную массу 3 и массу образца с наплавкой 5, выполненную из конкретного материала (Рис.3)
h	Демпфирующие свойства материала из которого выполнен образец с наплавкой 5 (Рис.3).
c	Жесткость пружины 2 (Рис.3).

3.1.2 Методика проведения исследования

Провести исследование динамики одномассовой системы в среде Matlab.

Получить модель с оптимальными параметрами.

Методика проведения исследования представляет собой решение основных задач:

1. Построить математическую модель динамической одномассовой системы в среде **Matlab**.
2. Построить структурную схему для одномассовой системы.
3. Проанализировать результаты. Определить оптимальные параметры.
4. Провести спектральный анализ. Диагностировать систему с использованием спектральных характеристик.
5. Исследовать амплитудно-фазовые частотные характеристики системы.

3.1.3 Подбор и расчет параметров для проведения исследования

1. Исходя из методики расчета рассчитываем амплитуду колебаний устройства, при заданных параметрах генератора.

Для получения АЧХ на вход электромеханического генератора подается напряжение в виде свип-сигнала, при этом возникающие на основании вибрации будут иметь тот же закон изменения частоты:

$$A(t) = A(w) \cdot \sin(u \cdot \tau) \quad (3.1.3.1)$$

где u – скорость изменения частоты возбуждения ($\text{Гц}/\text{s}$); τ – текущее время (s);

Данную зависимость (3.1.3.1) применяем при построении АФЧХ характеристик в ПО Matlab.

$$A(w) = \frac{F_{\text{возб}}}{m_{\text{осн}} \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{\Omega_{\text{осн}}}{2 \cdot \pi}\right)^2 - f_{\text{возб}}^2\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\zeta_{\text{осн}}}{\Omega_{\text{осн}}}\right)^2 \cdot f_{\text{возб}}^2}}$$

$F_{\text{возб}} = 500 \text{ Н}$, принято из технической документации генератора.

Для испытуемого объекта типа кольцо, $\Omega_{\text{осн}}$ определяется по зависимости (3.1.3.2):

$$\Omega_{\text{осн}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c_{\text{осн}}}{m_{\text{дат}}}} \quad (3.1.3.2)$$

Где $\Omega_{\text{осн}}$ – собственная частота основания, (Гц)

$m_{\text{дат}} = 0,01$ – масса датчика (кг).

$c_{\text{осн}} = 985 \text{ Н}$ - жесткость испытуемого объекта типа кольцо ($\text{Н}/\text{м}$);

$$\Omega_{\text{осн}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{985}{0,01}} = 50 \text{ Гц}$$

$f_{\text{возб}} = 80 \text{ Гц}$ – текущая частота возбуждения;

$\zeta_{\text{осн}} = 2$ – безразмерный коэффициент демпфирования основания [12].

$$A(w) = \frac{500}{3 \cdot \sqrt{\left(\left(\frac{50}{2 \cdot \pi}\right)^2 - 80^2\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{2}{50}\right)^2 \cdot 80^2}} = 0,026 \text{ мм}$$

Для получения АЧХ необходимо соблюдать условия: скорость изменения частоты возбуждения ω не должна превышать значений 50–100 Гц/с; максимальная величина времени свип-сигнала τ – не более 50 с, а также условие зависимости (3.1.3.3).

$$\frac{f_{\text{возб}}}{\Omega_{\text{осн}}} = \frac{\frac{80}{2 \cdot \pi}}{\frac{50}{2 \cdot \pi}} = 25 \quad (3.1.3.3)$$

При изменении частоты возбуждения в пределах $f_{\text{возб}} = 12\text{--}5000$ Гц в колебательной системе испытуемого объекта возникает резонанс на частотах, определяемых геометрическими параметрами.

Рассчитанные параметры и зависимости были применены в ПО Matlab, для построения графиков описывающих изменение параметров вибрации.

2. Для проведения исследования рассчитаем параметры жесткости.

Рассчитаем жесткость пружины. Известна минимальная и максимальная нагрузка $F_1=100\text{Н}$ и $F_2=175\text{Н}$ подаваемая на основную массу с генератора вибрации, через датчик подачи вибрации при этом максимальное изменение длины пружины не должно превышать 5 мм. Пружина должна иметь средний диаметр в диапазоне 16...20 мм [12].

Дано: $F_1=100\text{Н}$; $F_2=175\text{Н}$; $D_1=16\text{--}20\text{мм}$; $\Delta x = 5 \text{ мм}$

По заданным параметрам определяем предварительно жесткость пружины:

$$c = \frac{F_2 - F_1}{\Delta x} = \frac{175 - 100}{5} = 15 \text{ Н/мм}$$

Исходя из действующих сил выбираем диапазон усилий:

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - 0,05} \dots \frac{F_2}{1 - 0,1} = 184 \dots 194 \text{ Н}$$

В интервале сил 184...194 Н в ГОСТ 13770-86 для стальных (сталь 45) пружин (номер пружины 368) имеется виток со следующими параметрами: $F=194 \text{ Н}$; $D_{\text{п}}=19 \text{ мм}$; $D_{\text{в}} = 2 \text{ мм}$; $c_1 = 157,47 \text{ Н/мм}$.

Таким образом пружина будет состоять из 11 витков.

Коэффициент вязкого трения h исследуемых материалов характеризуется наличием вязкого трения. Коэффициент вязкого трения для материалов можно рассчитать исходя из коэффициента затухания, который является стандартной величиной для подобных устройств.

$$\zeta = \frac{h}{2 \cdot \sqrt{c \cdot m}}$$

где ζ - коэффициент затухания, безразмерная величина $\zeta = 0,01$ [12];

h – коэффициент вязкого трения материала;

c - коэффициент жесткости пружины;

m - основная масса и масса образца из конкретного материала;

Рассчитаем массу каждого образца с наплавкой в зависимости от материала. Масса наплавки рассчитывается по формуле:

$$m = V \cdot \rho$$

V – объем наплавки.

$$V = 100 \cdot 30 \cdot 5 = 15000 \text{ мм}^3$$

$\rho_1 = 0,007847 \text{ г/мм}^3$ – плотность стали 40Х

$\rho_2 = 0,002650 \text{ г/мм}^3$ – плотность алюминиевого сплава АМг6

$\rho_3 = 0,009400 \text{ г/мм}^3$ – плотность бронзы безоловянной литьейной БрС30.

Рассчитаем массу наплавки материала:

$$m_1 = 15000 \cdot 0,007847 = 117,7 \text{ г}$$

$$m_2 = 15000 \cdot 0,002650 = 39,75 \text{ г}$$

$$m_3 = 15000 \cdot 0,0094 = 141 \text{ г}$$

Масса наплавки вместе с образцом $m_{\text{обр1}}$:

$$m_n + m_{\text{обр}} = m_{\text{обр1}}$$

где m_n – масса конкретной наплавки

$m_{\text{обр}}$ – собственная масса образца, равная 100 г.

$$m_{\text{обр1}} = 117,7 + 100 = 217,7$$

$$m_{\text{обр2}} = 39,75 + 100 = 139,75$$

$$m_{\text{общ}} = 141 + 100 = 241$$

Рассчитаем общую массу груза с основной массой:

$$m_{1\text{общ}} = 3000 + 117,7 = 3217,7 \text{ г}$$

$$m_{2\text{общ}} = 3000 + 39,75 = 3139,75 \text{ г}$$

$$m_{3\text{общ}} = 3000 + 141 = 3241 \text{ г}$$

Выразим из формулы коэффициент и посчитаем его численное значение.

$$h = \zeta \cdot 2 \cdot \sqrt{c \cdot m}$$

Подставим все данные в уравнение, получим коэффициент демпфирования для каждого из образцов с наплавкой:

$$h_1 = 0,01 \cdot 2 \cdot \sqrt{15 \cdot 3,2177} = 0,1367 \text{ кг} \cdot \text{Н}/\text{м}$$

$$h_2 = 0,01 \cdot 2 \cdot \sqrt{15 \cdot 3,13975} = 0,1350 \text{ кг} \cdot \text{Н}/\text{м}$$

$$h_3 = 0,01 \cdot 2 \cdot \sqrt{15 \cdot 3,241} = 0,1370 \text{ кг} \cdot \text{Н}/\text{м}$$

Запишем вычисленные параметры жесткости в таблицу 3.1.3.1.

Таблица 3.1.3.1. Параметры жесткости системы.

№ образца	Масса образца $m, \text{ кг}$	Коэффициент жесткости пружины $C, \text{ Н}/\text{м}$	Коэффициенты вязкого трения $h, \text{ Н} \cdot (\text{с}/\text{м}^2)$
1	3217,7		0,1367
2	3139,75	15	0,1350
3	3241		0,1370

3.1.4 Составление математической модели

Расстановка сил

Выберем направление и расставим силы, действующие на тело в системе:

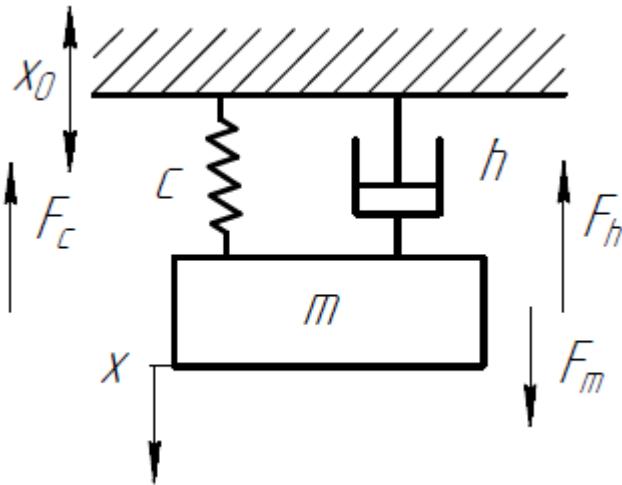


Рисунок 3.1.4.1 – Силы, действующие на массу

На рисунке направление воздействия вибрации представлено в виде X_0 (Рис.3.1.4.1)

При этом пружина с жесткостью c и образца из материала представлена в виде h противодействуют вибрации со стороны основания. При этом появляются сила демпфирования F_h и сила упругости F_c , направленные в одном направлении противоположно воздействию. Также на массу действует сила инерции, она направлена противоположно силе упругости и силе демпфирования. В соответствии с действующими силами уравнение баланса тела запишется следующим образом:

$$F_h + F_c = F_m$$

Распишем силы, действующие на систему:

$$h \cdot v_0 + c \cdot (x_0 - x) = m \cdot a$$

Составим системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dx_0}{dt} = v_0 \\ \frac{dv_0}{dt} = \frac{h \cdot v_0 + c \cdot (x_0 - x)}{m} \end{cases}$$

3.1.5 Структурная схема для расчета одномассовой схемы

В данном пункте представлена структурная схема (Рис.3.1.5.1) динамической одномассовой системы. Входным параметром в данной структурной схеме является внешнее воздействие X_0 , тело с массой m при воздействии X_0 начинает двигаться. Интегрируя X_0 , получаем V_0 . При этом воздействию X_0 сопротивляются пружина Fc и демпфер Fh . В результате воздействия X_0 также появляется сила инерции Fm , поделим Fm на массу m , получаем ускорение a . Далее интегрируем ускорение и получаем скорость v . После чего интегрируя скорость v , получаем перемещение x .

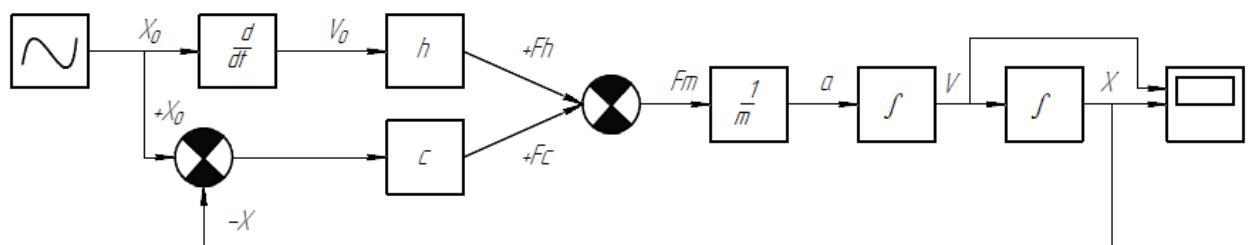


Рисунок 3.1.5.1 Структурная схема

3.1.6 Результаты проведенного математического моделирования

Получены следующие результаты исследования при заданных параметрах, рассчитанных в пункте 2.

Расчет виброперемещения и виброскорости при использовании различных образцов представлен на рисунках (рис.3.1.6.1, 3.1.6.2, 3.1.6.3).

Расчет виброперемещения и виброскорости при исследовании образца с наплавкой из материала Сталь 40Х представлен на рисунке (рис. 3.1.6.1).

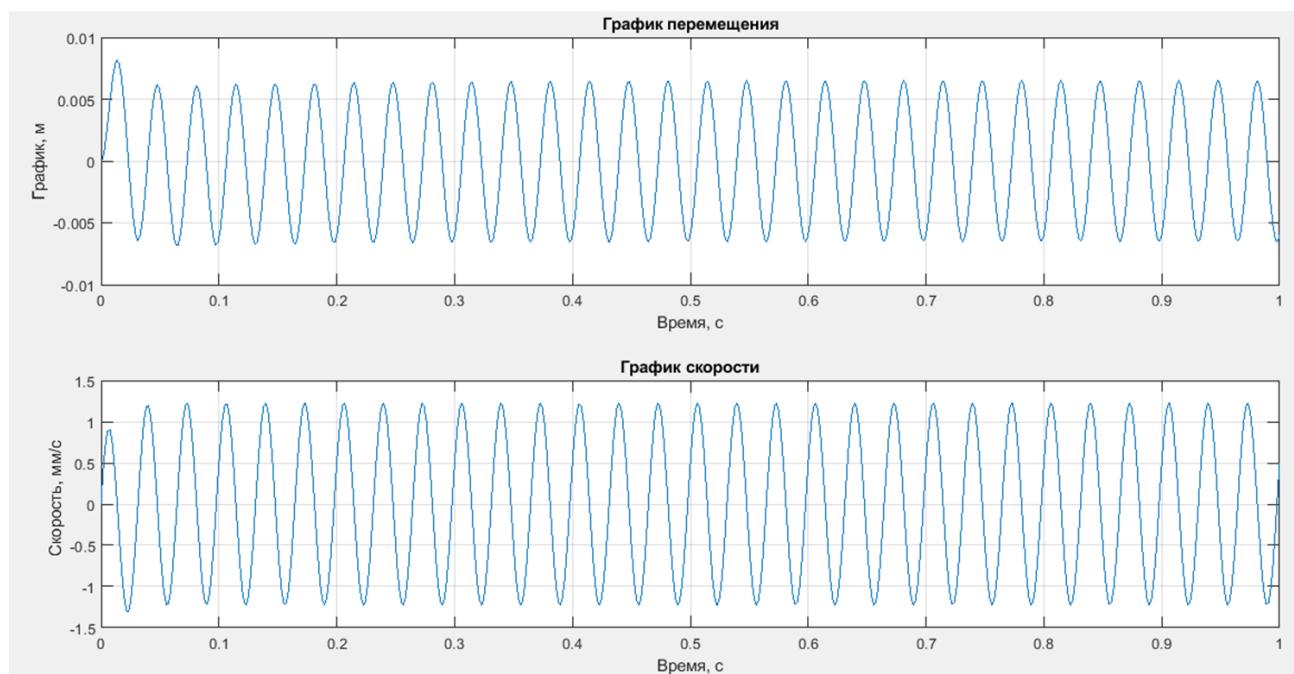


Рисунок 3.1.6.1 – Результаты моделирования при использовании образца с наплавкой из стали 40Х.

Расчет виброперемещения и виброскорости при исследовании образца с наплавкой из материала алюминиевого сплава АМг6 представлен на рисунке (рис. 3.1.6.2).

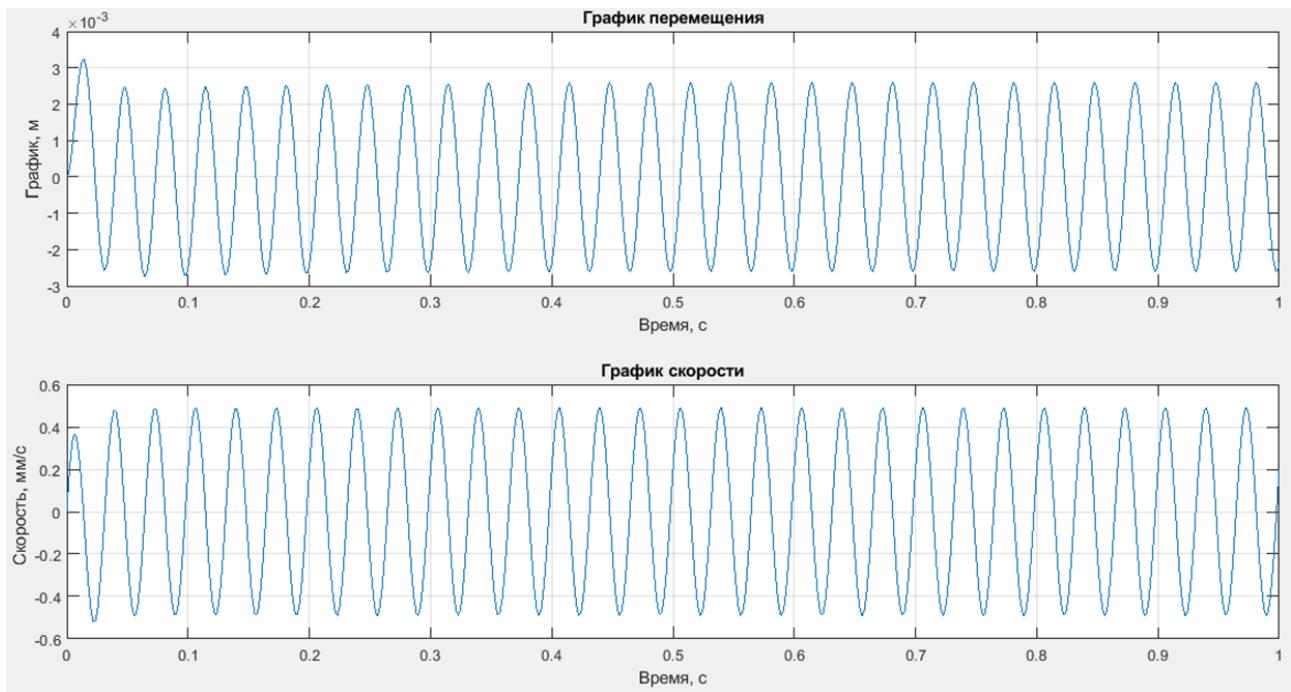


Рисунок 3.1.6.2 – Результаты моделирования при использовании образца с наплавкой из алюминиевого сплава АМг6.

Расчет виброперемещения и виброскорости при исследовании образца с наплавкой из материала бронзы безоловянной литейной БрС30 представлен на рисунке (рис. 3.1.6.3).

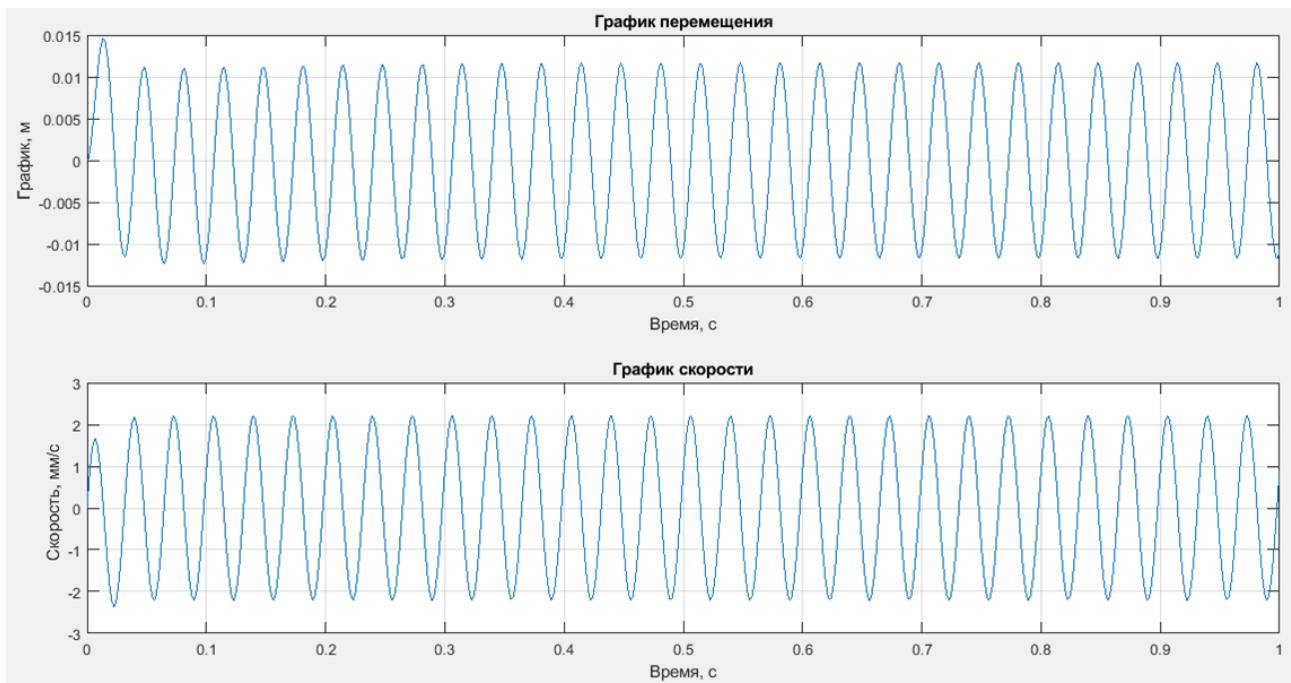


Рисунок 3.1.6.3 – Результаты моделирования при использовании образца с наплавкой из бронзы безоловянной литейной БрС30.

Исходя из полученных результатов расчета (Рис.3.1.6.1, Рис. 3.1.6.2, Рис. 3.1.6.3) видно, что при заданных параметрах максимальные значения виброперемещения и виброскорости на устойчивом режиме для каждого образца образца с наплавкой составили:

- для образца с наплавкой из стали 40Х

Максимальное значение виброперемещения: 0.0075 м

Максимальное значение виброскорости: 1.25 мм/с

- для образца с наплавкой из алюминиевого сплава АМгб

Максимальное значение виброперемещения: 0.0025 м

Максимальное значение виброскорости: 0.5 мм/с

- для образца с наплавкой из бронзы безоловянной литейной БрС30

Максимальное значение виброперемещения: 0.012 м

Максимальное значение виброскорости: 2.1 мм/с

Из приведенных результатов математического моделирования становится очевидно, что наиболее демпфирующими свойствами обладает образец с наплавкой из алюминиевого сплава АМгб, поскольку из представленных образцов имеет наиболее выраженные демпфирующие свойства.

3.1.7 Спектральный анализ

В данном разделе определена резонансная частота, при которой в результате совпадения этой частоты с собственной частотой колебаний системы может произойти поломка системы, в следствии многократного увеличения амплитуды.

Рассчитаем собственные частоты колебаний системы при использовании рассматриваемых образцов с наплавкой.

$$w_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{3117,7}} = 0,00403 \text{ Гц}$$

$$w_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{3039,75}} = 0,00410 \text{ Гц}$$

$$w_3 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{c}{m}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{3141}} = 0,00401 \text{ Гц}$$

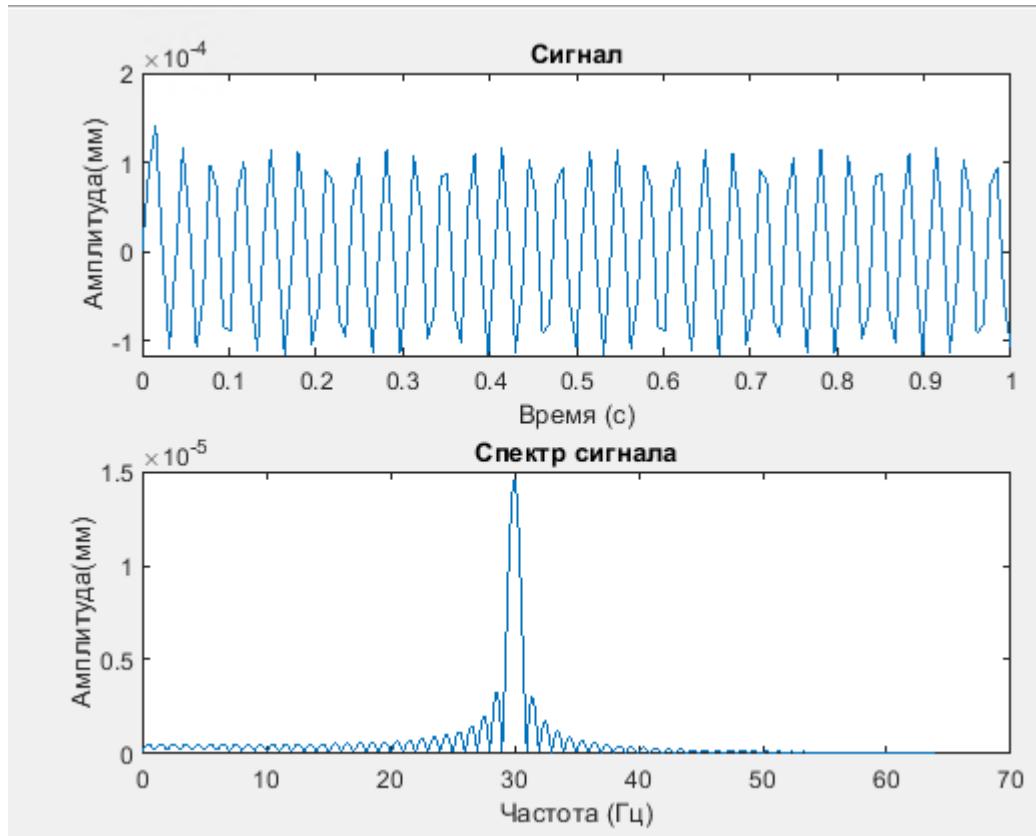


Рисунок 3.1.7.1 – Графики спектра частот исследуемой системы в диапазоне $f_w=70$ Гц

По результатам исследования можно сделать вывод, что внешняя частота колебаний не должна быть близка по значению к частоте собственных колебаний системы, так как возникает явление резонанса. Все рассчитанные частоты для образцов находятся в диапазоне частот до резонансовой частоты.

3.1.8 Амплитудно-фазовые частотные характеристики

Для построения амплитудно-фазовые частотные характеристики в среде **Matlab** необходимо найти передаточную функцию динамической однодименсийной системы следующем образом:

Нахождение передаточной функции

$$h \cdot v_0 + c \cdot (x_0 - x) = m \cdot a$$

Передаточная функция:

$$Wp = \frac{\text{вых}}{\text{вх}} = \frac{x}{x_0}$$

Подставим коэффициенты Лапласа:

$$p = \frac{d}{dt}; p^2 = \frac{d^2}{dt^2}; V = p \cdot x; a = p^2 \cdot x$$

$$c \cdot (X_0 - X) + p \cdot X_0 \cdot h = m \cdot p^2 \cdot X$$

$$c \cdot X_0 - c \cdot X + p \cdot h \cdot X_0 - m \cdot p^2 \cdot X = 0$$

$$X_0 \cdot (c + p \cdot h) = (m \cdot p^2 + c) \cdot X$$

$$W(p) = \frac{X}{X_0} = \frac{c + p \cdot h}{(m \cdot p^2 + c)}$$

$$W(p) = \frac{c + p \cdot h}{(m \cdot p^2 + c)}$$

Построим графики с помощью команд: step(W), impulse(W), bode(W), nyquist(W)

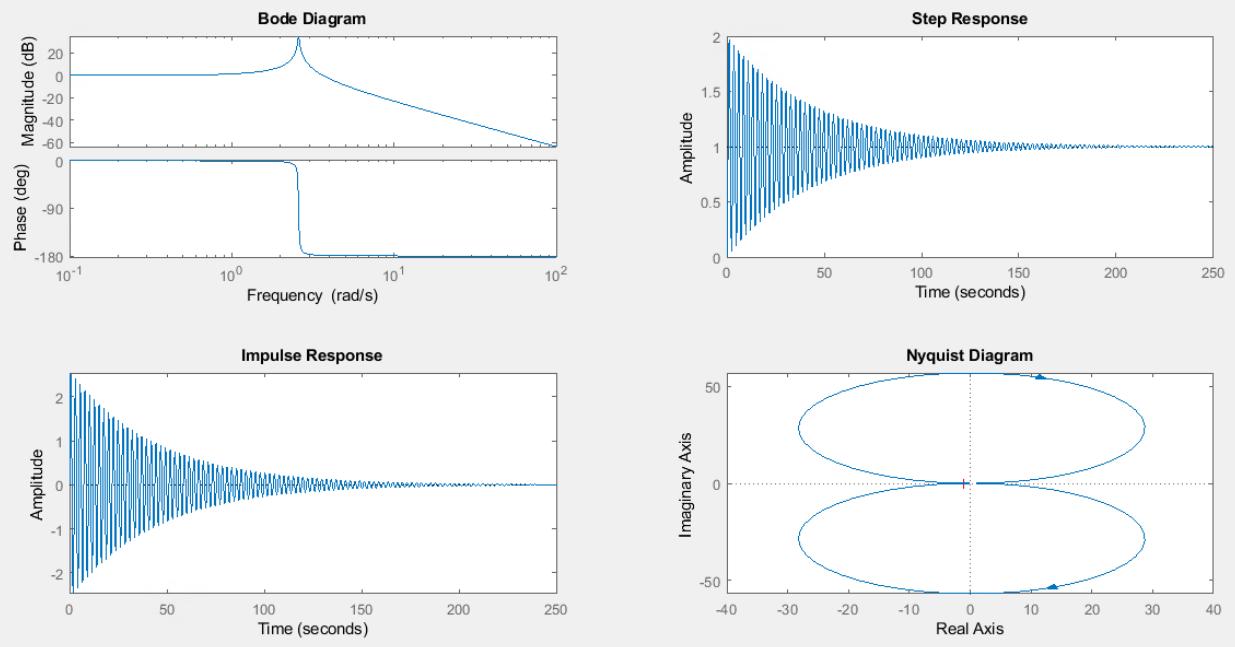


Рисунок 3.1.8.1 – АФЧХ полученные в среде **Matlab**

На рисунке (Рис.3.1.8.1) представлены АФЧХ полученные на основе применения образцов с наплавкой из алюминиевого сплава АМг6. Чтобы определить устойчивость системы необходимо увеличить диаграмму Найквиста.

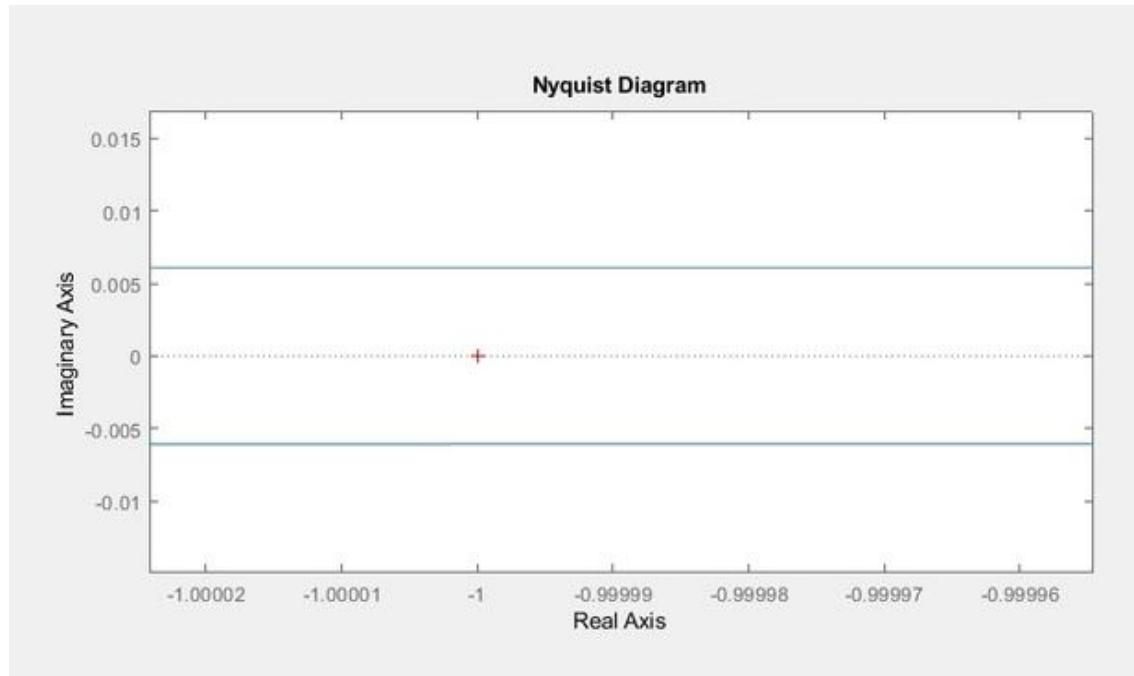


Рисунок 3.1.8.2 – Увеличенная диаграмма Найквиста.

На рисунке (Рис.3.1.8.2) видно, что точка определяющая устойчивость системы лежит за пределами неустойчивой области. Поэтому система считается устойчивой.

Step Response

Функция Step Response позволяет определить отклик системы на единичное ступенчатое воздействие.

По графику видно, что переходный процесс протекает около 250 с. Также можно сказать, что система устойчива, так как переходная функция затухает.

Impulse Response

Функция Impulse Response позволяет определить отклик системы на единичное импульсное воздействие (весовую функцию).

Для того чтобы система была физически реализуема в реальном времени, её импульсная переходная функция должна удовлетворять условию: $h(t)=0$ при $t<0$. В противном случае система нереализуема, поскольку отклик на выходе системы не может появиться раньше, чем поступающее на вход системы воздействие, вызывающее отклик.

Bode Diagram

Диаграмма Боде состоит из двух кривых: одна для амплитуды, другая для фазы. Амплитудная кривая дает зависимость амплитуды, выраженной в децилогах в функции логарифма частоты. Фазовая кривая выражает зависимость фазового угла в градусах от логарифма частоты.

Nyquist Diagram

На таком графике частота выступает в качестве параметра кривой, фаза и амплитуда системы на заданной частоте представляется углом и длиной радиус-вектора каждой точки характеристики. По данным диаграммы Nyquist можно сказать, что данная однодimensionalная динамическая система устойчива, так как график не охватывает красную точку.

3.1.9 Описание результатов математического моделирования

Полученная модель исследована в среде Matlab. В процессе исследований одномассовой системы произведен расчет пружины, соединяющей основание и основную массу, произведен расчет коэффициентов вязкого трения в зависимости от материала образца с наплавкой.

В этой части работы выполнено сравнение результатов математического моделирования процессов воздействия вибрации основную массу с образцом с наплавкой из конкретного материала:

- для образца с наплавкой стали 40Х

Максимальное значение виброперемещения: 0.0075 м

Максимальное значение виброскорости: 1.25 мм/с

- для образца с наплавкой алюминиевого сплава АМг6

Максимальное значение виброперемещения: 0.0025 м

Максимальное значение виброскорости: 0.5 мм/с

- для образца с наплавкой бронзы безоловянной литейной БрС30

Максимальное значение виброперемещения: 0.012 м

Максимальное значение виброскорости: 2.1 мм/с

Сравнивая значения параметров вибрации (виброперемещения и виброускорения) различных образцов с наплавкой из рассматриваемых материалов, очевидно, что образец с наплавкой из алюминиевого сплава АМг6 наиболее эффективно демптирует вибрацию.

Также в этой части работы выполнен спектральный анализ одномассовой системы в среде Matlab. По результатам исследования можно сделать вывод, что внешняя частота колебаний не должна быть близка по значению к частоте внутренних колебаний системы, так как возникает явление резонанса.

В результате построения АФЧХ стало очевидно, что система является устойчивой.

3.2 Экспериментальная часть

3.2.1 Устройство и принцип работы

Для исследования демпфирующих свойств материалов использовалось устройство, приведенное на рисунке (Рис.3.2.1.1) Устройство [8] было модифицировано для проведения исследования демпфирующих свойств материалов, сталь 40Х, БрС30 и АМг6. Также для фиксации параметров вибрации применялся вибродиагностический комплекс К-5101 и разработанный СПМО [11,12].

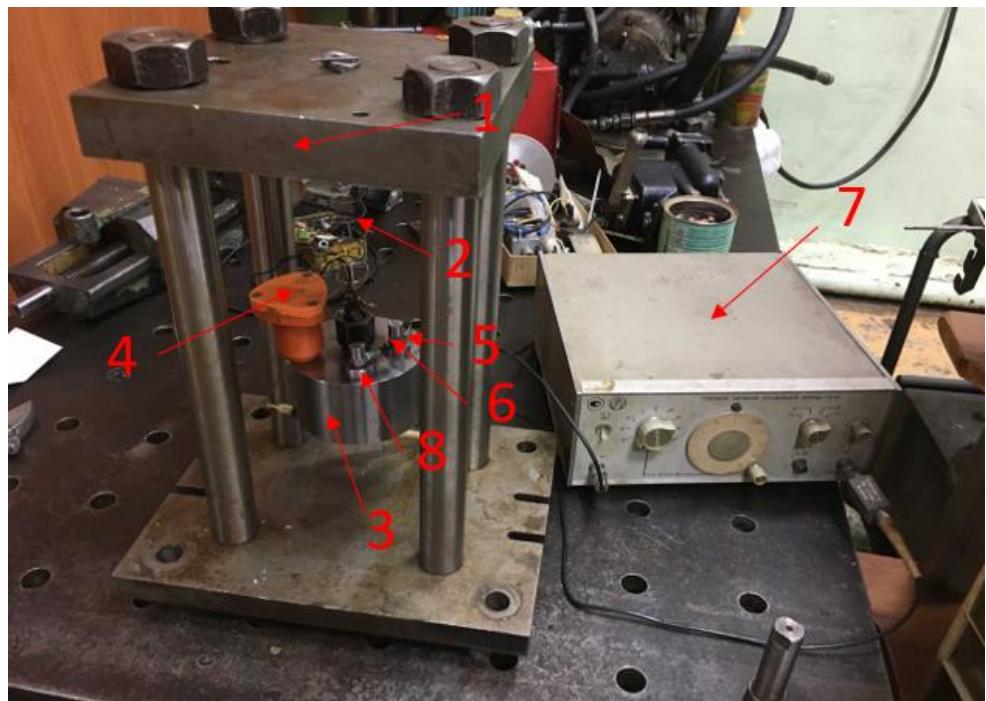


Рисунок 3.2.1.1 – Устройство для измерения демпфирующих свойств материалов: 1 – корпус, 2 – пружина, 3 – масса, 4 – генератор электромеханический, 5 – испытуемый образец, 6, 8 – акселерометры, 7 – генератор сигналов специальной формы

Принцип действия устройства для исследования демпфирующих свойств материалов следующий: испытуемый образец заданных размеров – 5 устанавливается на массе – 3, которая через пружину – 2 крепится к корпусу – 1. Возбуждение колебаний массы – 3 осуществляется электромеханическим генератором – 4, при этом возбуждаемая (входная) вибрация измеряется

акселерометром – 8, а вибрация, передаваемая на образец – 5, – акселерометром – 6. Данные от акселерометров – 6, 8 передаются на виброизмерительный комплекс К-5101 и ПК с СПМО «Виброрегистратор-М» [11,12] для последующего анализа.

Особенность данной схемы состоит в том, что жесткость пружины – 3 и масса основания – 2 образуют колебательную систему, собственная частота которой на два порядка меньше частоты возбуждения генератором – 4, используемой для определения демпфирующих свойств образца.

3.2.2 Результаты проведения экспериментов

При исследовании демпфирующих свойств образцов с наплавкой материалов сталь 40Х, АМг6 и БрС30 были получены следующие результаты:

Результаты исследования образца с наплавкой стали 40Х, зафиксированные виброизмерительным комплексом К-5101 и ПК с СПМО «Виброрегистратор-М» представлены на рисунке (Рис.3.2.2.1, 3.2.2.2)

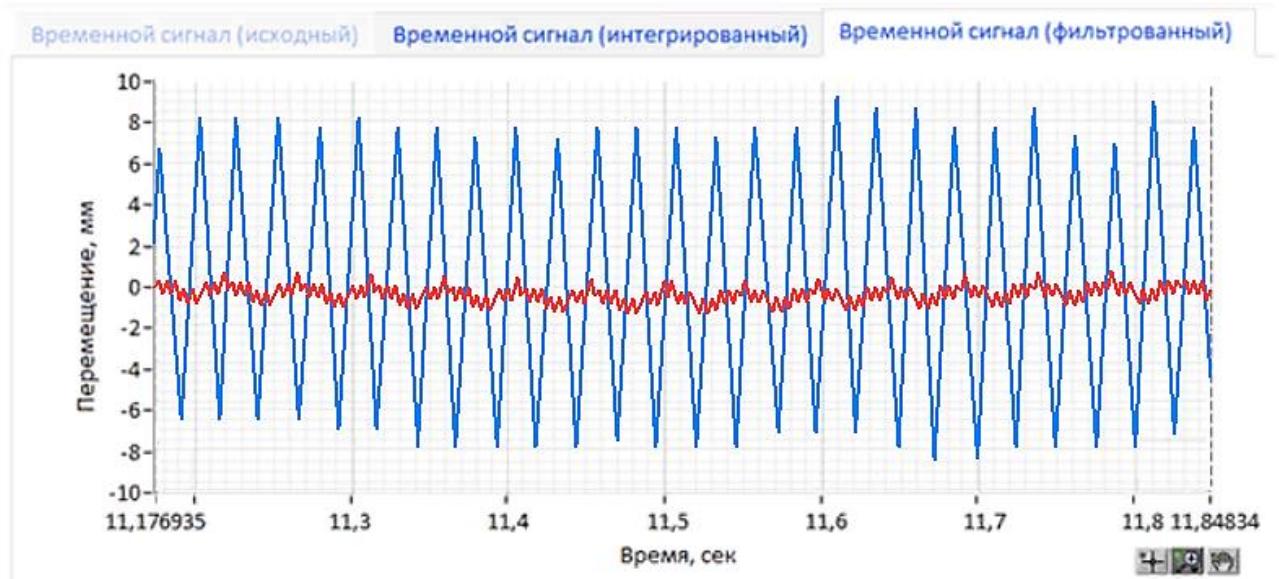


Рисунок 3.2.2.1 График виброподвижек при исследовании образца с наплавкой стали 40Х.

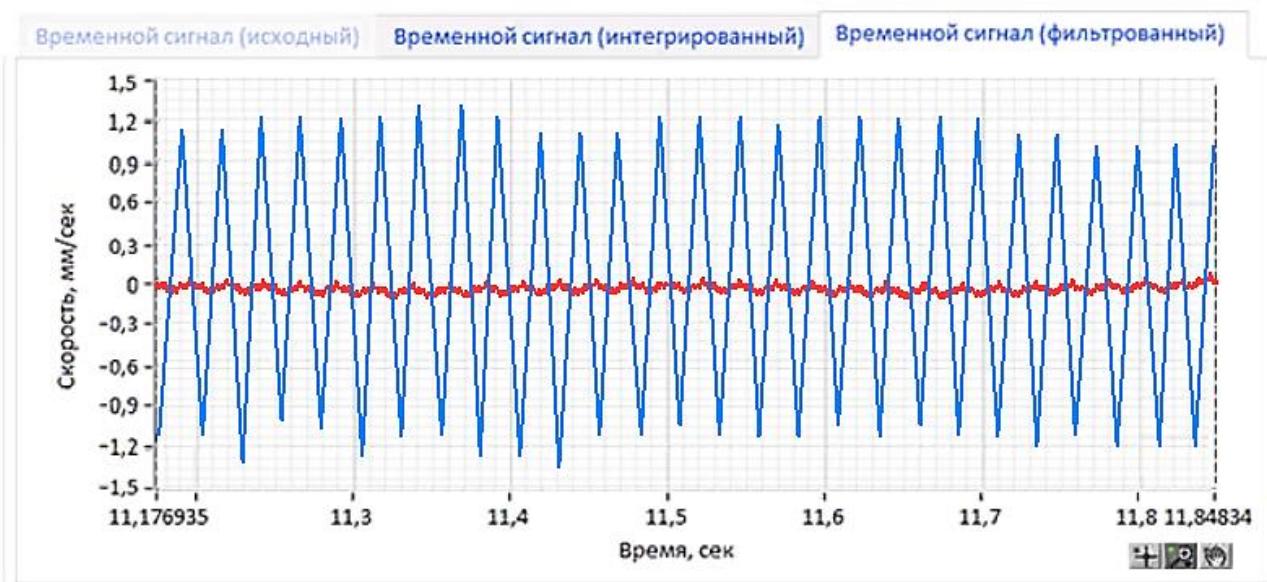


Рисунок 3.2.2.2 График виброскорости при исследовании образца с наплавкой стали 40Х

Результаты исследования образца с наплавкой сплава АМг6, зафиксированные вибропримесительным комплексом К-5101 и ПК с СПМО «Виброрегистратор-М» представлены на рисунке (Рис.3.2.2.3, 3.2.2.4)

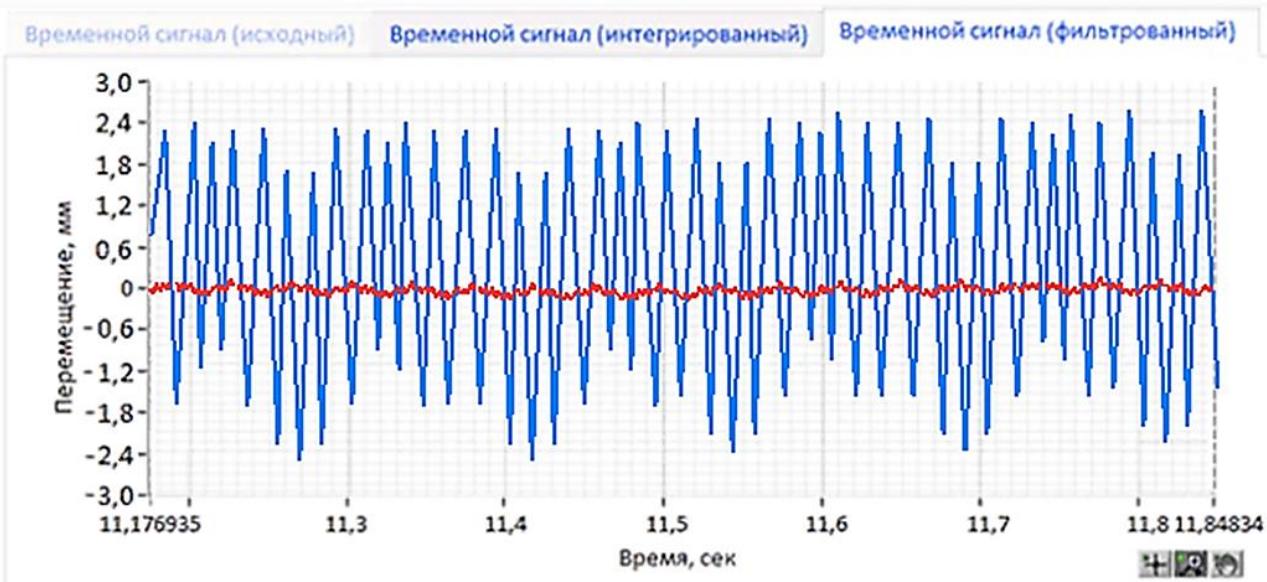


Рисунок 3.2.2.3 График вибропрелемления при исследовании образца с наплавкой сплава АМг6

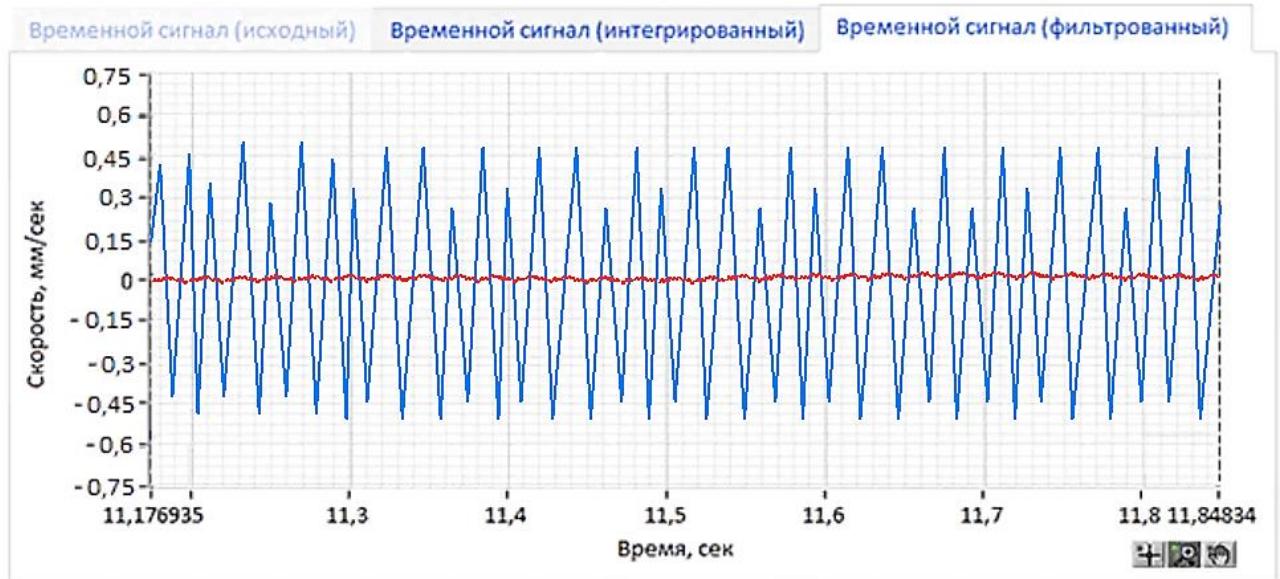


Рисунок 3.2.2.4 График виброскорости при исследовании образца с наплавкой сплава АМг6

Результаты исследования образца с наплавкой БрС30, зафиксированные виброизмерительным комплексом К-5101 и ПК с СПМО «Виброрегистратор-М» представлены на рисунке (Рис. 3.2.2.5, 3.2.2.6)

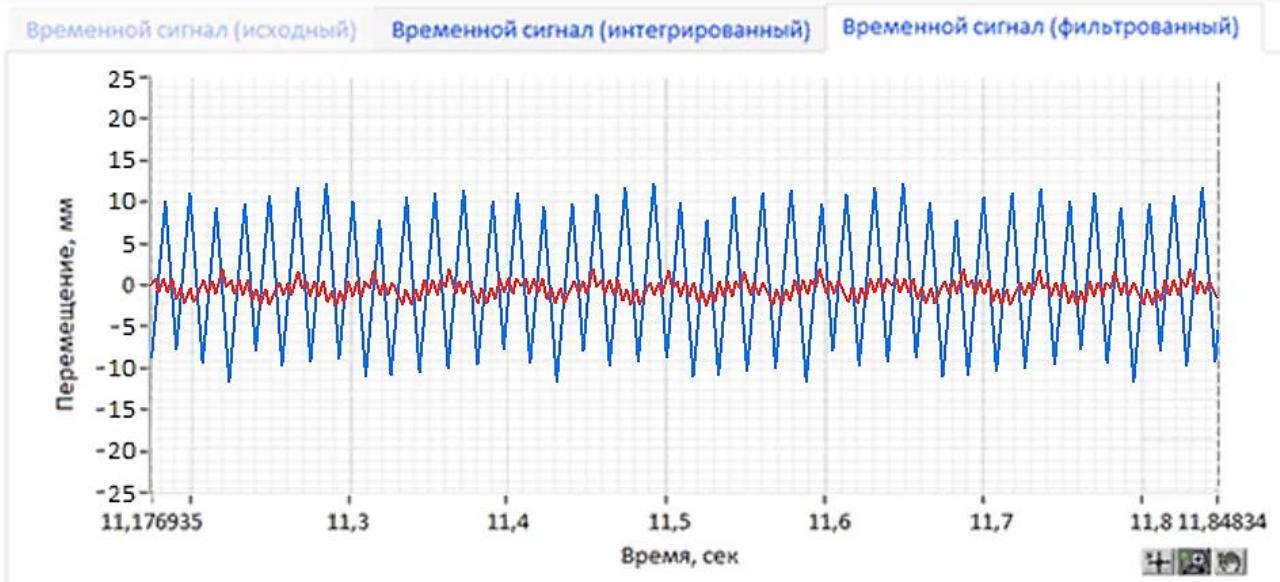


Рисунок 3.2.2.5 График вибропрелемления при исследовании образца с наплавкой БрС30

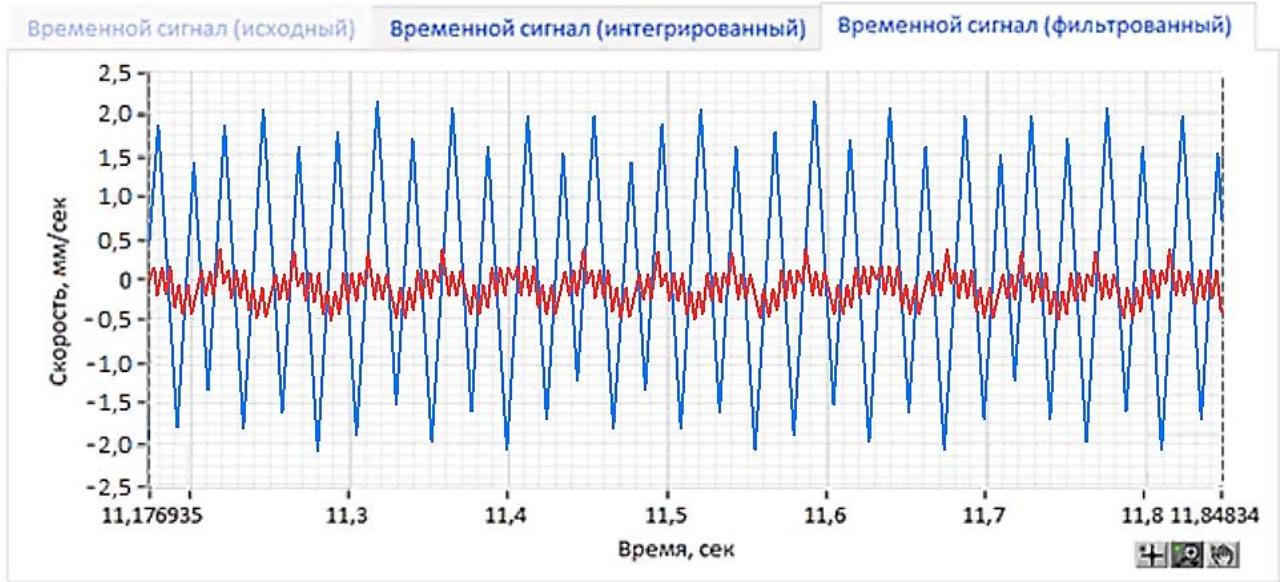


Рисунок 3.2.2.6 График виброскорости при исследовании образца с наплавкой
БрС30

Из экспериментальных графиков (рис. 3.2.2.1-3.2.2.6) получили следующие результаты:

- для образца с наплавкой стали 40Х

Максимальное значение виброперемещения: 8 мм

Максимальное значение виброскорости: 1,23 мм/с

- для образца с наплавкой алюминиевого сплава АМг6

Максимальное значение виброперемещения: 2,5 мм

Максимальное значение виброскорости: 0,55 мм/с

- для образца с наплавкой бронзы безоловянной литейной БрС30

Максимальное значение виброперемещения: 13 мм

Максимальное значение виброскорости: 2,2 мм/с

Сравнивая значения параметров вибрации (виброперемещения и виброускорения) различных образцов с наплавкой из рассматриваемых материалов, из графиков (Рис. 3.2.2.1-3.2.2.6) видно, что образец с наплавкой из алюминиевого сплава АМг6 наиболее эффективно демпфирует вибрацию, поскольку его максимальное значение виброперемещения в 3,2 раза меньше, чем у Стали 40Х, и в 5,2 раза меньше, чем максимальное значение

виброперемещения при использовании материала БрС30. При этом максимальное значение виброскорости при использовании образца АМг6 в 2,2 раза ниже, чем максимальное значение виброскорости при использовании Стали 40Х, и также в 4 раза меньше чем максимальное значение виброскорости при использовании материала БрС30.

4. Выводы по результатам сравнения расчетов математического моделирования и проведенных экспериментов

В результате математического моделирования и проведения экспериментов были получены значения виброперемещения и виброскорости для образцов с тремя различными материалами наплавки: Сталь 40Х, АМг6 и БрС30 представленные в таблице (Табл.4.1).

Таблица 4.1 Результаты проводимых исследований

Материал	Математическое моделирование		Проведение экспериментов	
	Виброперемещение, мм	Виброскорость мм/сек	Виброперемещение, мм	Виброскорость мм/сек
Сталь 40Х	7,5	1,25	8	1,23
АМг6	2,5	0,5	2,5	0,55
БрС30	12	2,1	13	2,2

Исходя из полученных результатов, представленных в таблице (табл. 4.1) можно сделать следующие выводы:

- Значения результатов математического моделирования и проведенных экспериментов при использовании устройства для исследования демпфирующих свойств имеют незначительную погрешность до 7%, обусловленную качеством проводимых экспериментов и влиянием сторонних факторов. В целом погрешность значений результатов, в данном случае, можно считать удовлетворительной.

- В результате сравнения данных полученных рассматриваемыми методами можно сделать вывод, что наиболее выраженными демпфирующими

свойствами обладает материал АМг6. Образец с наплавкой из алюминиевого сплава АМг6 наиболее эффективно демпфирует вибрацию, поскольку его максимальное значение виброперемещения в 3,2 раза меньше, чем у Стали 40Х, и в 5,2 раза меньше, чем максимальное значение виброперемещения при использовании материала БрС30. При этом максимальное значение виброскорости при использовании образца АМг6 в 2,2 раза ниже, чем максимальное значение виброскорости при использовании Стали 40Х, и также в 4 раза меньше чем максимальное значение виброскорости при использовании материала БрС30.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4HM01	Хамидов Бобуржон Хамид угли

Школа	ИШИПТ	Отделение школы (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 1500000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 500000 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Значение показателя интегральной ресурсоэффективности – не менее 0,5 баллов из 1.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %. (НКРФ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Определение финансового и научно - технического эффекта

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	02.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н.		02.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4HM01	Хамидов Бобуржон Хамид угли		02.03.2022

5.1 Введение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках НИ. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала внедрения данной методики;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной эффективности исследования.

Цель работы – исследование демпфирующих свойств материалов. Данное исследование достаточно актуально в наше время, поскольку результаты исследования демпфирующих свойств материалов помогут расширить применение различных материалов в отрасли машиностроения. В качестве методов исследования в работе применяются такие методы как математическое моделирование и динамический метод исследования демпфирующих свойств материалов при помощи специального устройства. Результаты использования применяемых методов сравниваются с акустическим и механическим методами.

5.2 Анализ конкурентных технических решений

В процессе работы рассматривались три варианта методов исследования:

Вариант 1 – Динамический метод;

Вариант 2 – Акустический метод;

Вариант 3 – Механический метод;

Детальный анализ конструктивного исполнения необходим, т.к. каждый тип конструктивного исполнения имеет свои достоинства и недостатки. Данный анализ производится с применением оценочной карты, приведенной в таблице 5.2.1. Экспертная оценка производится по техническим характеристикам и экономическим показателям по 5 бальной шкале, где 1 – наиболее низкая оценка, а 5 – наиболее сильная. Общий вес всех показателей в сумме должен составлять 1.

Таблица 5.2.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Возможность внедрения устройства в единую систему автоматики	0,12	5	3	1	0,6	0,36	0,12
Удобство в эксплуатации	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
Стабильность срабатывания	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
Контроль времени задержки коммутации без подключения дополнительного оборудования	0,14	5	1	3	0,7	0,14	0,42
Простота конструкции и ремонтопригодность	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
Компактность	0,14	4	5	5	0,56	0,7	0,7
Безопасность	0,09	5	5	4	0,45	0,45	0,36
Экономические критерии оценки эффективности							
Цена	0,13	3	4	5	0,39	0,52	0,65
Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	5	4	0,35	0,35	0,28
Затраты на ремонт	0,06	3	4	5	0,18	0,24	0,3
Итого	1	43	39	38	4,28	3,76	3,78

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot \Gamma_i = 0,1 \cdot 3 = 0,3,$$

где K – конкурентоспособность проекта; B_i – вес показателя (в долях единицы); Γ_i – балл показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №1 является наиболее предпочтительным и является наиболее выгодным и эффективным типом исполнения готового устройства.

5.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 5.3.1 – SWOT-анализ

	Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
	<p>S1. Техническая простота конструкции;</p> <p>S2. Возможность высоко точно измерять параметры вибраций;</p> <p>S3. Возможность регулирования параметров оборудования;</p> <p>S4. Повышение безопасности производства;</p> <p>S5. Широкая применимость метода;</p> <p>S6. Высокая чувствительность метода;</p> <p>S7. Возможность внедрения материалов в производство.</p>	<p>W1. Большое количество комплектующих.</p> <p>W2. Отсутствие бизнес-плана коммерциализации</p> <p>W3. Не проработаны вопросы выхода на рынок</p> <p>W4. Нельзя применять в пожароопасных условиях.</p>
Opportunities (возможности)		
O1. Модернизация существующего пневматического привода.	Повышение технологических параметров – демпфируемые свойства.	Трудозатратный, дорогостоящий метода.
O2. Отсутствие выброса в окружающую среду вредных веществ.		
O3. Требования к повышению качества работы пневматического привода.		
O4. Увеличение мощности .		

Продолжение таблицы 5.3.1

Threats (угрозы)	Высокая конкуренция компенсируется техническими возможностями реализации метода.	Ввиду отсутствия популярности и трудозатратности проекта, а также его обслуживания может наблюдаться низкий спрос.
T1. Незаинтересованность покупателей.		
T2. Отсутствие заинтересованных спонсоров проекта.		
T3. Узкоспециализированное направление.		

Таблица 5.3.2 – Связь сильных сторон с возможностями

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
O1	+	+	+	+	+	+	+
O2	-	-	-	+	-	-	+
O3	+	+	+	+	+	+	+
O4	+	+	+	+	+	+	-

Таблица 5.3.3 – Связь слабых сторон с возможностями

	W1	W2	W 3	W4
O1	+	-	-	-
O2	+	-	-	-
O3	+	-	-	-
O4	-	+	+	+

Таблица 5.3.4 – Связь сильных сторон с угрозами

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
T1	-	-	-	-	-	-	+
T2	-	-	-	-	+	-	+
T3	+	+	+	+	-	+	+

Таблица 5.3.5 – Связь слабых сторон с угрозами

	W1	W2	W 3	W4
T1	+	+	-	+
T2	+	+	+	+
T3	+	+	+	+

На основании проведенного исследования конкурентоспособности и SWOT – анализа можно сделать вывод, что вариант привода №1 является более предпочтительным, выгодным и эффективным методом исследования относительно вариантов №2 и №3. Среди сильных сторон наибольший вес имеет возможность внедрения метода исследования в производство. Среди слабых сторон - Большое количество комплектующих для обеспечения условий.

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

В данном проекте участвует Инженер и Руководитель. Каждый из них выполняет заданную работу, в соответствии со своими обязанностями.

Список производимых работ, а также их количество, в данном исследовательском проекте, представлены в виде таблицы 7.

Таблица 5.4.1 – Список производимых задач и работ и их исполнители

№ раб	Наименование работы	Должность исполнителя
1	Создание технического задания	Руководитель
2	Выбор направления исследований	Руководитель
		Инженер
3	Изучение материала по теме	Инженер
4	Планирование работ по проекту	Руководитель
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер
6	Разработка макета	
7	Проведение исследования	Руководитель
		Инженер
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер

Продолжение таблицы 5.4.1

10	Составление пояснительной записи (эксплуатационно-технической документации)	Инженер
11	Проверка пояснительной записи и документации	Руководитель
		Инженер

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость является важнейшим экономическим показателем, позволяющим оценить эффективность использования рабочего времени в процессе производства или выполнения работ. Формула трудоемкости показывает, какое количество труда необходимо применить при изготовлении одной единицы продукции.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ожi}$ определяется по формуле:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot t_{mini} + 2 \cdot t_{maxi}}{5},$$

где t_{mini} – минимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является оптимистичной оценкой: при удачном стечении обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможное время выполнения поставленной задачи исполнителем (является пессимистичной оценкой: при неудачном стечении обстоятельств, чел.-дн.).

На основании расчетов ожидаемой трудоемкости работ, необходимо определить продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p :

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{\Psi_i},$$

Где Ψ_i – количество исполнителей, одновременно выполняющих поставленную задачу, чел.

По всем работам результаты расчета продолжительности в рабочих днях представлены в таблице 5.4.2.

Разработка графика проведения проектирования

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Отрезки – время затраченной исполнителем на определенный вид работ.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki.\text{рук}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кап}},$$

$$T_{ki.\text{инж}} = T_{pi} \cdot k_{\text{кап}},$$

где $k_{\text{кап}}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кап.рук}} = \frac{T_{\text{кап}}}{T_{\text{кап}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

$$k_{\text{кап.инж}} = \frac{T_{\text{кап}}}{T_{\text{кап}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кап}}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{\text{пр}}$ – общее количество праздничных дней в году.

Все полученные значения в календарных днях округляются до целого числа, а затем сводятся в таблицу 5.4.2.

Таблица 5.4.2 – Временные показатели проектирования

Номер выполняемой работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни			
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	10	-	12	-	10,8	-	10,8	-
2	4	3	6	5	4,8	4,2	2,4	2,1
3	-	2	-	3	-	2,4	-	2,4
4	5	-	7	-	5,8	-	5,8	-
5	-	20	-	22	-	21,6	-	21,6
6	-	3	-	7	-	4,6	-	4,6
7	5	3	7	5	5,8	4,2	5,8	2,1
8	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-
9	-	5	-	7	-	5,8	-	5,8
10	-	15	-	20	-	17	-	17
11	2	-	6	-	3,2	-	3,2	-
							4	-

После расчета и сведения в таблицу временных показателей проектирования, на основе полученной таблицы строится диаграмма Ганта для руководителя и инженера таблица 5.4.3.

Таблица 5.4.3. Диаграмма Ганта для руководителя и инженера.

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	11													
2	Выбор направления исследований	Руководитель Инженер	6				1									
3	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	4					1								
4	Планирование работ по проекту	Руководитель	6					1								
5	Анализ возможных вариантов исполнения устройства и компьютерное моделирование	Инженер	22						1	2	3					
6	Разработка макета	Инженер	5								1					
7	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, Инженер	9								1					
8	Проверка качества выполнения исследования	Руководитель	12									1				
9	Разработка принципиальной схемы	Инженер	6									1				
10	Составление пояснительной записи (эксплуатационно-технической документации)	Инженер	17										1	2		
11	Проверка пояснительной записи и документов	Руководитель	4												1	

■ - Инженер; ■ - Руководитель;

Таблица 5.4.4 – Сводная таблица по календарным дням

	Количество дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	102
Общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер	60
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	42

В результате выполнения подраздела был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить

и спланировать рабочее время исполнителей, а также рассчитано количество дней, в течение которых работал каждый из исполнителей.

Цели и результат исследования

Определим заинтересованные стороны и их ожидания, результат сведем в таблицу 5.4.5.

Таблица 5.4.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Руководитель проекта	Реализация проекта, получение гранта
Исполнитель проекта	Получение степени бакалавра
НИ ТПУ	Привлечение средств хозяйственных договоров, рост средней оплаты труда, рост рейтинга НИ ТПУ
Предприятия	Рост эффективности производства, качественное техническое обслуживание оборудования

Определим цели и результаты проекта, сведя их в таблицу 5.4.6.

Таблица 5.4.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование демпфирующих свойств материалов
Ожидаемые результаты проекта:	Получение актуальных результатов демпфирующих свойств материалов
Критерии приемки результата проекта:	Полноценное осуществление динамического метода исследования демпфирующих материалов
Требования к результату проекта:	Выявление действительных свойств демпфирующих свойств материалов

5.5 Организационная структура проекта

Данный проект представлен в виде проектной организационной структуры. Проектная организационная структура проекта представлена на рисунке 5.5.1.

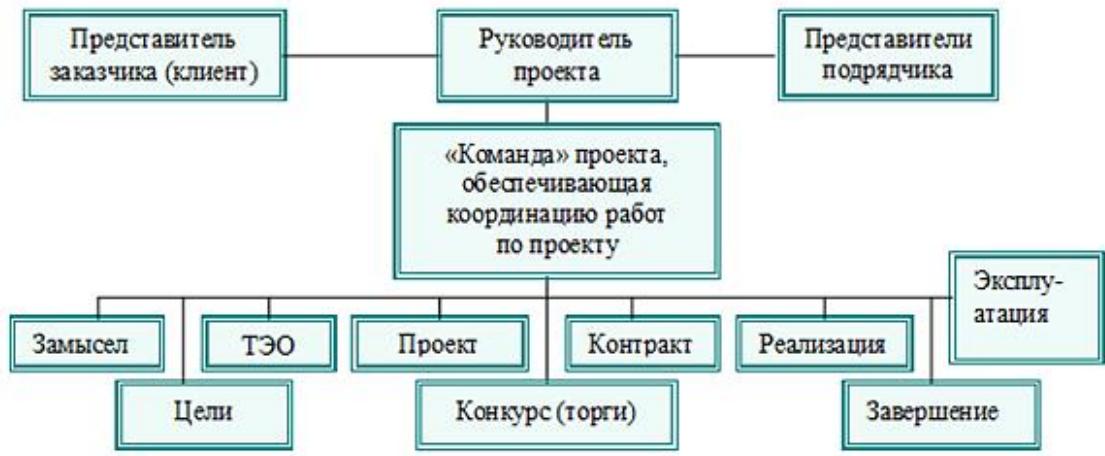


Рисунок 5.5.1 – Проектная структура проекта

План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта (таблица 5.5.1).

Таблица 5.5.1 – План управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Исполнитель	Руководителю	Еженедельно (понедельник)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель	Руководителю	Ежемесячно (конец месяца)
3.	Документы и информация по проекту	Исполнитель	Руководителю	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель	Руководителю	Не позже дня контрольного события по плану управления

Реестр рисков проекта

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

Информация по возможным рискам сведена в таблицу 5.5.2.

Таблица 5.5.2 – Реестр рисков

№	Риск	Вероятность наступления	Влияние риска	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Неточность метода анализа	2	5	Низкий	Внешний и внутренние анализы	Низкая точность метода анализа
2	Погрешность расчетов	3	5	Средний	Пересчет, проверка	Невнимательность
3	Отсутствие интереса к результатам исследования	2	5	Низкий	Привлечение предприятий, публикация результатов	Отсутствие результатов исследования

5.6 Бюджет исследовательской работы

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты сгруппированы по статьям. В данном исследовании выделены следующие статьи:

1. Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты;
2. Специальное оборудование для научных работ;
3. Заработка плата (основная и дополнительная);
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Накладные расходы.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме (таблица 5.6.1).

Таблица 5.6.1 – Расчет затрат по статье «Сырье и материалы»

Наименование	Количество, шт	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Тетрадь	2	50,0	100,0
Ручка гелиевая	2	31,0	62,0
Ластик	1	20	20,0
Печать	100	3	300,0
Бумага	40	8	320,0
Бутылки пластиковая	30	10	300
Сталь 40Х	30 кг	48,1	1443
Пружина	1	80	80
Всего за материалы	1102		
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			55,1
Итого по статье			1157,1

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ.

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по теме НИР (таблица 5.6.2).

Таблица 5.6.2 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Компьютер (HP)	1	30000,0	30000,0
2	Программное обеспечение MicrosoftOffice	1	5990,0	5990,0
3	ПО Matlab	1	20000	20000
4	Генератор электричества	1	25000	25000
5	Виброрегистратор	1	100000	100000
Итого, руб.:				180990

Основная заработная плата

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p,$$

где $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (табл. 5.6.3).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

При отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{42900 \cdot 11,2}{265} = 1813 \text{ руб.}$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{31200 \cdot 11,2}{289} = 1209 \text{ руб.}$$

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 22000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 42900 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_m = Z_m \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p = 16000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 31200 \text{ руб.}$$

где Z_m – заработка плата, согласно тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 5.6.3 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	52/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/10	24/5
Действительный годовой фонд рабочего времени	265	289

Таблица 5.6.4 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_o	k_p	Z_m , руб	Z_{dh} , руб	T_p , раб.дн.	Z_{osn} , руб
Руководитель	22000	0,3	0,2	1,3	42900	1813	42	76146
Инженер	16000	0,3	0,2	1,3	31200	1209	60	71540
Итого:								147686

Дополнительная заработка плата

Дополнительная заработка плата определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 76146 = 11421 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 71540 = 10671 \text{ руб.}$$

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

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (76146 + 11421) = 26270 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (71540 + 10671) = 24663 \text{ руб.}$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$Z_{\text{накл}} = \left(\frac{\text{сумма статей}}{6} \right) \cdot k_{\text{нр}} = \\ = (1157,1 + 180990 + 147686 + 22092 + 50933) \cdot 0,2 = \\ = 59621 \text{ руб}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Таблица 5.6.5 – Группировка затрат по статьям

Вид исследования	Статьи						
	Сырье, материалы	Специальное оборудование	Основная заработка плата	Дополнительная заработка плата	Отчисления на социальные нужды	Накладн. расходы	Итого бюджетная стоимость
Данное исследование	1157,1	180990	147686	22092	50933	80571,72	483429,7
Аналог	1550	219420	158292	24378	74289	95585,8	573514,8

5.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности

Оценка абсолютной эффективности исследования

В основе проектного подхода к инвестиционной деятельности предприятия лежит принцип денежных потоков. Особенностью является его прогнозный и долгосрочный характер, поэтому в применяемом подходе к анализу учитываются фактор времени и фактор риска. Для оценки общей экономической эффективности используются следующие основные показатели:

- чистая текущая стоимость (NPV);
- индекс доходности (PI);
- внутренняя ставка доходности (IRR);
- срок окупаемости (DPP).

Чистая текущая стоимость (NPV) – это показатель экономической эффективности инвестиционного проекта, который рассчитывается путём дисконтирования (приведения к текущей стоимости, т.е. на момент инвестирования) ожидаемых денежных потоков (как доходов, так и расходов).

Расчёт NPV осуществляется по следующей формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опт}}{(1+i)^t} - I_0$$

где: ЧДП_{опт} – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2 \dots n$)

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Расчет NPV позволяет судить о целесообразности инвестирования денежных средств. Если $NPV > 0$, то проект оказывается эффективным.

Расчет чистой текущей стоимости представлен в таблице 20. При расчете рентабельность проекта составляла **25 %**, норма амортизации - 10 %.

Таблица 5.7.1 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, руб.	0	604 287,2	604 287,2	604 287,2	604 287,2
2	Итого приток, руб.	0	604 287,2	604 287,2	604 287,2	604 287,2
3	Инвестиционные издержки, руб.	-483429,7	0	0	0	0
4	Операционные затраты, руб. (35% от бюджета)	0	169 200,2	169 200,2	169 200,2	169 200,2
5	Налогооблагаемая прибыль	0	435 087	435 087	435 087	435 087
6	Налоги 20 %, руб.	0	87 017,4	87 017,4	87 017,4	87 017,4
8	Чистая прибыль, руб.	0	348 069,6	348 069,6	348 069,6	348 069,6
9	Чистый денежный поток (ЧДП), руб.	-483429,7	396 412,6	396 412,6	396 412,6	396 412,6
10	Коэффициент дисконтирования при $i=20\%$ (КД)	1	<u>0,833</u>	<u>0,694</u>	<u>0,578</u>	<u>0,482</u>
11	Чистый дисконтированный денежный поток	-483429,7	330 211,6	275 110,3	229 126,4	191 070,8
12	$\sum \text{ЧДД}$	1 025 519,1 руб.				
12	Итого NPV, руб.	542 089,4 руб.				

Коэффициент дисконтирования рассчитан по формуле:

$$КД = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

где: i – ставка дисконтирования, 20 %;

t – шаг расчета.

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 297 157,19 рублей, что позволяет судить об его эффективности.

Индекс доходности(PI) – показатель эффективности инвестиции, представляющий собой отношение дисконтированных доходов к размеру инвестиционного капитала. Данный показатель позволяет определить инвестиционную эффективность вложений в данный проект. Индекс доходности рассчитывается по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{\text{ЧДП}_t}{I_0} / I_0 > 1$$

где: ЧДД - чистый денежный поток, руб.;

I_0 – начальный инвестиционный капитал, руб.

Таким образом PI для данного проекта составляет:

$$PI = \frac{1\ 025\ 519,1}{542\ 089,4} = 1,89$$

Так как $PI > 1$, то проект является эффективным.

Внутренняя ставка доходности (IRR). Значение ставки, при которой обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или IRR. Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или $=0$. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость представлена в таблице 5.7.1 и на рисунке 5.7.1.

Таблица 5.7.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV, руб.
1	Чистые денежные потоки, руб.	-483429,7	396412,6	396412,6	396412,6	396412,6	
2	Коэффициент дисконтирования						
	0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,350	
	0,4	1	0,714	0,510	0,364	0,260	
	0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	0,6	1	0,625	0,390	0,244	0,153	
	0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,112	
	0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	1	1	0,500	0,250	0,125	0,062	
3	Дисконтированный денежный поток, руб.						
	0,1	-483429,7	360339,053	327436,80	297705,8626	270749,8058	772801,8
	0,2	-483429,7	330211,695	275110,34	229126,4828	191070,8732	542089,6
	0,3	-483429,7	304841,289	234676,25	180367,733	138744,41	375199,9
	0,4	-483429,7	283038,596	202170,42	144294,1864	103067,276	249140,7
	0,5	-483429,7	264407,204	176007,19	116941,717	78489,6948	152416
	0,6	-483429,7	247757,875	154600,91	96724,6744	60651,1278	76304,89
	0,7	-483429,7	233090,608	132798,22	80471,7578	44398,2112	7329,098
	0,8	-483429,7	220405,405	122491,49	67786,5546	37659,197	-35087
	0,9	-483429,7	208513,027	109806,29	57876,2396	30523,7702	-76710,3
	1,0	-483429,7	198206,3	99103,15	49551,575	24577,5812	-111991

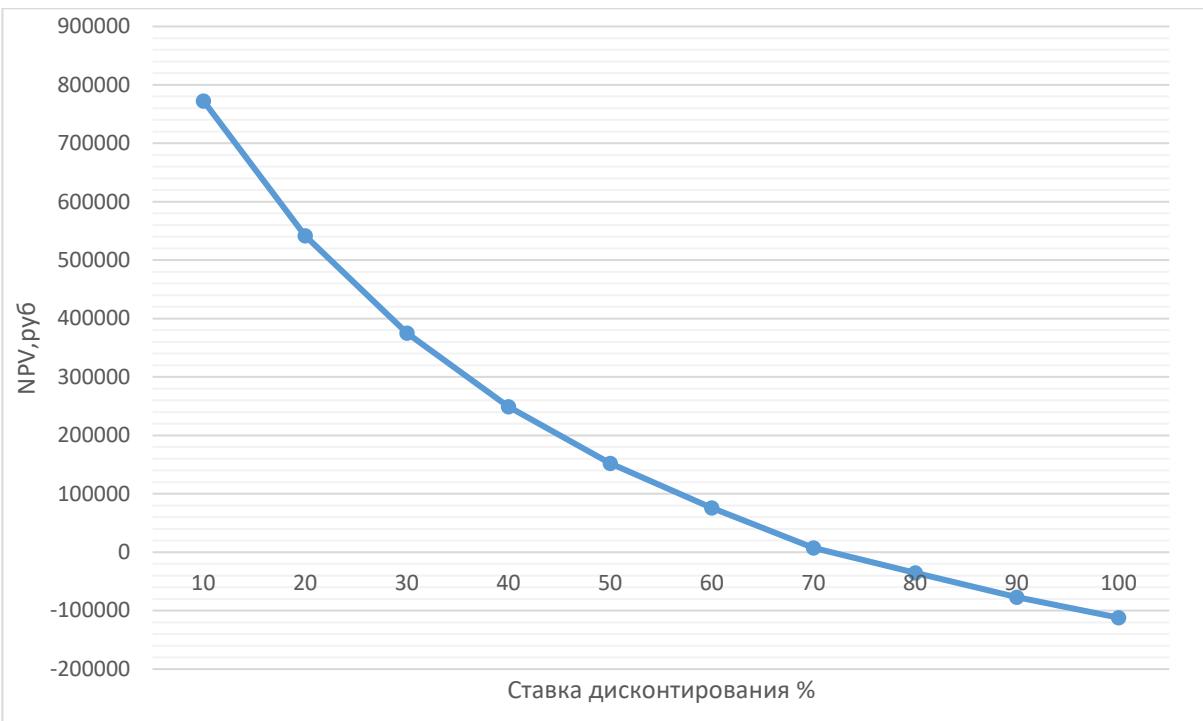


Рисунок 5.7.1 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли». Из графика получаем, что IRR составляет 0,74.

IRR>i, проект эффективен.

Запас экономической прочности проекта: $74\% - 20\% = 54\%$

Дисконтированный срок окупаемости. Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости. То есть это время, за которое денежные средства должны совершить оборот.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (таблица 5.7.2).

Таблица 5.7.2 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Дисконтированный чистый денежный поток ($i = 0,20$), руб.	-483429,7	330 211,6	275 110,3	229 126,4	191 070,8
2	То же нарастающим итогом, руб.	-483429,7	-35087	7329,098	76304,89	152416
3	Дисконтированный срок окупаемости	$DPP_{дск} = 1 + (35087 / 275 110,3) = 1,12$ года				

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населений или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты (таблица 5.7.3).

Таблица 5.7.3 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Отсутствие информации о результатах исследований демпфирующих свойств определенных материалов	Получены результаты исследований демпфирующих свойств определенных материалов
Отсутствие полной информации о методах исследования демпфирующих свойств материалов	Проведены исследования демпфирующих свойств материалов динамическим методом

5.8 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности исследовательской работы получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве вариантов исполнения были выбраны ближайшие аналоги:

- Акустический метод;

- Механический метод;

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

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

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения исследовательской работы (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{483429,7}{600000} = 0,81$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{573514,8}{600000} = 0,95$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}3} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{582939,7}{600000} = 0,96$$

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

Интегральный показатель ресурсоэффективности

Определение ресурсоэффективности происходит на основе интегрального показателя ресурсоэффективности:

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

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 5.8.1.

Таблица 5.8.2 – Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка разработки	Бальная оценка Лопастной привод	Бальная оценка двухпоршневой привод
1. Безопасность при использовании установки	0,2	5	4	3
2. Стабильность работы	0,1	3	4	2
3. Технические характеристики	0,2	4	3	4
4. Ремонтопригодность	0,3	4	3	3
5. Простота эксплуатации	0,2	5	4	4
Итого:	1	4,5	3,9	4,1

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 4 + 0,2 \cdot 5 = 4,3$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,5$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 = 3,3$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{исп.1}}^{\text{финр}}} = \frac{4,3}{0,81} = 5,31$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 5.8.3). Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп2}}{I_{исп1}} = \frac{3,7}{5,31} = 0,7$$

Таблица 5.8.3 – Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,81	0,95	0,96
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,3	3,5	3,3
3	Интегральный показатель эффективности	5,31	3,7	3,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,7	0,64

Выводы по главе:

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять, что разработанный вариант проведения проекта является наиболее эффективным при решении поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 542089,4 руб.; индекс доходности PI=1,89, внутренняя ставка доходности IRR=74%, срок окупаемости РРдск=1,12 года.

Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
4НМ01		Хамидов Бобуржон Хамид угли	
Школа	Направление/специальность	Отделение (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	Магистратура		Конструирование технологического оборудования 15.04.05

Тема ВКР:

Исследование демпфирующих свойств материалов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
Введение	<p>Объект исследования: сталь 40Х, алюминиевый сплав АМг6, бронза БрС30.</p> <p>Область применения: Машиностроение</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение.</p> <p>Размеры помещения: 9м*7м*3,5м*.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: персональный компьютер, устройство для исследования демпфирующих свойств материалов.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: отслеживание параметров вибрации при работе устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<u>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения</u>	<ul style="list-style-type: none"> - ТК РФ - ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. - ГОСТ 22269-76. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
<u>2. Производственная безопасность при эксплуатации</u>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенный уровень вибрации 2. Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; 3. Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего;

<p>производственного фактора</p>	<p>4. Повышенный уровень шума</p> <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека. <p>средства коллективной защиты:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применение различных виброизолирующих устройств, такие как виброопоры, виброблоки и др. - установка дополнительного освещения: ламп, светильников и т.д. - установка вентиляторов в помещении. - ограждающие устройства; звукоизолирующие, звукогасящие устройства; устройства автоматического контроля и сигнализации; изолирующие устройства и покрытия; <p>средства индивидуальной защиты:</p> <p>Расчет: Системы искусственного освещения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: возникающие, шум и вибрация при работе устройства</p> <p>Воздействие на литосферу: существенное вибрационное воздействие</p> <p>Воздействие на гидросферу: попадание вредных химических веществ.</p> <p>Воздействие на атмосферу: попадание пыли</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u></p>	<p>Возможные ЧС:</p> <p>Природные катастрофы: заморозки</p> <p>Техногенные аварии: пожар</p> <p>Наиболее типичная ЧС: пожар</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	К.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ01	Хамидов Бобуржон Хамид угли		

6.1 Введение

Основной задачей данного раздела является выявление и анализ вредных и опасных факторов при исследовании и проектировании новой разработки и поиск средств защиты от них, создание оптимальных условий труда, анализ влияния на окружающую среду и профилактика ЧС.

Данный раздел включает в себя описание и влияние на человека опасных и вредных факторов при исследовании проекта на тему «Исследование демпфирующих свойств материалов». Исследование проводилось с использованием программного обеспечения Matlab, где была выполнена математическая модель, которая впоследствии использовалась для проведения экспериментов в виртуальной среде.

Все работы выполнялись на персональном компьютере, в рабочей среде отделения материаловедения (ОМ), а также в производственной лаборатории при прямом контакте с устройством для исследования демпфирующих свойств материалов.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые нормы трудового законодательства

По соглашению сторон трудового договора работнику как при приеме на работу, так и впоследствии может устанавливаться неполное рабочее время (неполный рабочий день (смена) и (или) неполная рабочая неделя, в том числе с разделением рабочего дня на части). Неполное рабочее время может устанавливаться как без ограничения срока, так и на любой согласованный сторонами трудового договора срок.

При проведении работ по исследованию демпфирующих свойств материалов график работы был - неполное рабочее время, в соответствии с ТК РФ Статья 93. Неполное рабочее время.

В соответствии с ТК РФ Статья 108. Перерывы для отдыха и питания в течение рабочего дня (смены) работнику должен быть предоставлен перерыв для отдыха и питания продолжительностью не более двух часов и не менее 30 минут, который в рабочее время не включается. Правилами внутреннего трудового распорядка или трудовым договором может быть предусмотрено, что указанный перерыв может не предоставляться работнику, если установленная для него продолжительность ежедневной работы (смены) не превышает четырех часов.

Продолжительность ежедневной работы не превышало 4 часов, поэтому перерыв не предоставлялся.

В соответствии с ТК РФ Статья 111. Выходные дни: Всем работникам предоставляются выходные дни (еженедельный непрерывный отдых). При пятидневной рабочей неделе работникам предоставляются два выходных дня в неделю, при шестидневной рабочей неделе - один выходной день.

При проведении работ по исследованию свойств демпфирующих материалов предоставлялось два выходных дня.

Эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны

Проведение работ по исследованию демпфирующих свойств материалов происходило за рабочим столом и креслом, поэтому рабочее место было организовано в соответствии с правилами ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ:

- высота стола должна быть выбрана с учетом возможности сидеть свободно, в удобной позе, при необходимости опираясь на подлокотники;
- нижняя часть стола должна быть сконструирована так, чтобы конструктор мог удобно сидеть, не был вынужден поджимать ноги;
- конструкция стола должна предусматривать наличие выдвижных ящиков (не менее 3 для хранения документации, листингов, канцерных принадлежностей);
- высота рабочей поверхности рекомендуется в пределах 680 – 760 мм;
- высота поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть около 650 мм.

При проведении работ по исследованию демпфирующих свойств материалов были обеспечены требования к размещению органов направления в соответствии с ГОСТ 22269-76.

При размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху

вниз;

- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;

6.3 Производственная безопасность

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представить в виде таблицы (таблица 6.3.1).

Таблица 6.3.1. Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень вибрации	- ГОСТ 12.1.012-2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования.
Повышенный уровень шума	- СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с изменением № 1)»
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего;	- Требования к микроклимату по ГОСТ 12.1.005-88; - Требования к освещению СП 52.13330.2016; Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-95*;
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения;	- ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.	

6.4 Анализ выявленных вредных и опасных факторов

Повышенный уровень вибрации

В процессе работы устройство для исследования демпфирующих свойств материалов является источником, излучающим вибрацию. Работа устройства по исследованию демпфирующих свойств материалов проводилась при различных заданных частотах вибрации, при этом максимальное полное среднеквадратичное значение корректированного виброускорения было 0,01 м/с.

В соответствии с требованиями по ГОСТ 12.1.012-2004 устройство не относят к вибropасным, если в любых режимах работы и любых условиях ее нормального применения максимальное полное среднеквадратичное значение корректированного виброускорения не превышает 0,5 м/с для локальной и 0,1 м/с для общей вибрации. Вибрационные характеристики таких машин допускается не заявлять и не подтверждать.

В соответствии с ГОСТ 12.4.011-89 к средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства: ограждающие; вибропоглощающие, виброгасящие и вибропоглощающие; автоматического контроля и сигнализации; дистанционного управления.

Повышенный уровень шума

Источником повышенного уровня шума является устройство для исследования демпфирующих свойств материалов. Шум причиняет большой ущерб, отрицательно влияет на организм человека и понижает производительность труда. Утомление работников по причине сильного шума ухудшает качество работы, повышает уровень травматизма, т.к. на фоне этого шума не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других механизмов. При длительной продолжительности действия сильного шума вызывает общее утомление, впоследствии может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Таким образом, высокий уровень шума отрицательно воздействует на организм человека.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014:

При нормировании шума используют два метода:

- нормирование по предельному спектру шума,
- нормирование уровня звука в дБ (таблица 6.4.1)

Таблица 6.4.1 - Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука СП 51.13330.2011

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Помещение для компрессора (по факту)	110	99	92	86	82	79	77	74	71	86

Мероприятия по борьбе с шумом в соответствии с ГОСТ 12.1.003-2014:

- уменьшение уровня шума в источнике его возникновения, за счет повышение качества балансировки вращающихся деталей;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- использование оптимальных режимов работы компрессора;
- установка глушителей шума;

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды в местонахождении работающего

Источником фактора является температура воздуха в помещении при

проводении исследования демпфирующих свойств материалов.

Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» допустимые микроклиматические условия в рабочем помещении установлены по критериям допустимого теплового и функционального состояния человека на период 8-часовой рабочей смены. Они не вызывают повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут приводить к возникновению общих и локальных ощущений теплового дискомфорта, напряжению механизмов терморегуляции, ухудшению самочувствия и понижению работоспособности.

Значения показателей микроклимата в помещении, в котором проводилось исследование не превышало значений параметров микроклимата, приведенных в таблице (табл.6.4.2)

Таблица 6.4.2 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °C	Температура поверхностей, °C	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa (175-232)	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa (175-232)	20-22	19-23	60-40	0,2

В случае если нормативные параметры микроклимата превышают оптимальные значения, то в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, должна быть обеспечена защита работающих от возможного перегревания и охлаждения: системы местного кондиционирования воздуха, воздушное душирование, помещения для отдыха и обогревания, спецодежда и другие средства индивидуальной защиты, регламентация времени работы и отдыха и т.п. В целях профилактики тепловых травм температура наружных поверхностей технологического оборудования или ограждающих его устройств не должна превышать 45°C.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормированных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СП 52.13330.2016.

Расчет общего равномерного искусственного освещения выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток отраженный от пола и стен.

Длина $A=9$ м; ширина $B=7$ м; высота $H=3,5$ м; рабочая плоскость находится на уровне $h_p=1$ м;

Площадь помещения:

$$S = A \cdot B,$$

$$S = 9 \cdot 7 = 63 \text{ м}^2$$

Коэффициент отражения покрашенных светло-зеленых стен с окнами без штор $\rho_c = 40\%$, свежепобеленного потолка $\rho_\Pi = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,2$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z=1,1$.

Выбираем лампу дневного света ЛТБ-40, световой поток которой равен $\Phi_{лд} = 2200$ Лм. Выбираем светильники с люминесцентными лампами ОДОР – 2-40. Этот светильник имеет две лампы мощность. 40 Вт каждая, длина светильника равна 1200 мм, ширина 260 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина, которая для люминесцентных светильников с защитной решеткой лежит в диапазон 1,1-1,3. Принимаем равным $\lambda = 1,2$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса.

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых

светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,2 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{9}{2,4} = 3,75 \approx 4$$

Число светильников в ряду:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{7}{2,4} = 2,92 \approx 3$$

Общее число светильников $N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12$.

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$i = \frac{L}{3} = \frac{2,4}{3} = 0,8 \text{ м}$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 6.4.1 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

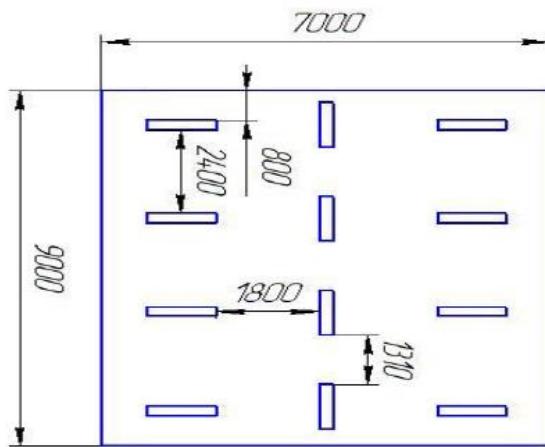


Рисунок 6.4.1 – План помещения и размещения светильников.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{9 \cdot 7}{2 \cdot (9 + 7)} = 1,97$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность для светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $\rho_c = 40\%$, $\rho_\Pi = 70\%$ и индексе помещения $i = 1,97$ равен $\eta = 0,6$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_\Pi = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 9 \cdot 7 \cdot 1,2 \cdot 1,1}{2 \cdot 12 \cdot 0,6} = 1751 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_\Pi}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{\Phi_{\text{ЛД}} - \Phi_\Pi}{\Phi_{\text{ЛД}}} \cdot 100\% = \frac{2200 - 1751}{2200} \cdot 100\% = 19\%$$

Таким образом $10\% \leq 19\% \leq 20\%$, необходимый световой поток.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Источником данного фактора является генератор электрического тока, входящий в состав устройства для исследования демпфирующих свойств материалов.

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017, опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и заболеваний, включая профессиональные и производственно-обусловленные заболевания.

При длительном воздействии допустимый безопасный ток принят в 1 мА (таблица 6.4.3).

Таблица 6.4.3 - Длительность протекания тока через тело человека

Длительность воздействия, с	30	30	1	0,7	0,5	0,2
Допустимый безопасный ток, мА	1	6	50	70	100	250

В соответствии с ГОСТ 12.1.019-2017 для того, чтобы исключить возникновения поражения персонала электрическим током необходимо использовать защитные рукавицы, фартуки, ток изолирующую одежду. Также необходимо обеспечить заземление токоведущих проводов.

6.5 Экологическая безопасность

Влияние на селитебную зону

Источник влияющий на селитебную зону – устройство для исследования демпфирующих свойств материалов.

В соответствии с санитарными нормами проектирования промышленные производства можно разделить на 5 классов СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Исследуемое устройство находится на машиностроительном заводе, относящийся к объектам V класса, то есть в пределах селитебной зоны.

В связи с этим, устройство нельзя располагать менее чем на 50 метров от жилых домов. В таком случае вредного воздействия на селитебную зону будет в оптимальном диапазоне.

Влияние на атмосферу

В процессе исследования демпфирующих свойств материалов наблюдалось влияние работы устройства на атмосферу. При работе устройства наблюдалось выделение пыли оксида ванадия (III) в атмосферу.

В соответствии с ГОСТ 12.1.005-88 концентрация пыли оксида ванадия (III) не должна быть выше 0,5 мг/м³.

В соответствии с ГОСТ 12.4.034-2017, в случае превышения указанного уровня концентрация пыли оксида ванадия (III) необходимо использовать при работе фильтрующие респираторы - СИЗОД, предназначенные для защиты

органов дыхания персонала промышленных предприятий в условиях загрязненной окружающей воздушной среды.

Влияние на литосферу

Источник влияния на литосферу – устройство для исследования демпфирующих свойств материалов. Влияние на литосферу осуществлялось путем вибрационного воздействия определенного уровня. Из-за повышенной вибрации происходит смещение почвы, образуются обвалы и оползни.

По ГОСТ 31191.1-2004 Допустимый уровень частоты вибрации при постоянном вибрационном воздействии на литосферу не должен превышать 80 Гц.

В соответствии с ГОСТ 26568-85, в случае превышения частоты вибрации оптимального значения необходимо установить под устройство различные виброизолирующие прокладки, виброопоры и др.

Влияние на гидросферу

Источником загрязнения гидросферы является СОЖ, которая попадает в гидросферу при изготовлении деталей устройства для исследования демпфирующих свойств материалов. В своем составе химических веществ СОЖ содержит такое вещество нитрометан.

В соответствии с РД 52.18.833-2015 предельно-допустимая концентрация нитрометана в гидросфере не должна превышать 0,005 мг/л.

В случае превышения данного норматива, необходимо выполнить очистку пораженного участка гидросферы химическим методом в соответствии с ГОСТ 25150-82.

6.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

При проведении исследования демпфирующих свойств материалов наиболее типичной ЧС является пожар. Причиной пожара могут быть: неработоспособное электрооборудование, неисправности в проводке. Поэтому необходимо строго соблюдать основы пожарной безопасности. Основы пожарной безопасности определены по ГОСТ 12.1.004-91 и ГОСТ 12.1.010-76.

Пожарная профилактика основывается на исключении условий, необходимых для горения, и использования принципов обеспечения безопасности. Для устранения возможности пожара в помещении необходимо соблюдать противопожарные меры:

- применение средств пожаротушения;
- использование пожарной сигнализации;
- наличие в помещении средств пожаротушения (огнетушители типа ОУ-3, пожарный топор, пожарный рукав).

Выводы по разделу

Таким образом в результате выполнения раздела магистерской диссертации «Социальная ответственность» можно сделать вывод, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

С точки зрения ПУЭ помещение для исследования относится к категории: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

В представленной работе выбраны: Группа персонала по электробезопасности: Группа II.

Категория тяжести труда I – легкие физические работы.

Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 для проведения исследования: Г - умеренная пожаро-опасность.

Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду: объект относится к объектам III категории.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были исследованы демпфирующие свойства материалов Сталь 40Х, АМг6, БрС30, согласно цели и задачам конструкторского раздела, финансового менеджмента и социальной ответственности.

В конструкторской части были рассмотрены материалы, обладающие демпфирующими свойствами, из групп материалов выбраны материалы с наиболее выраженными неисследованными демпфирующими свойствами. Рассмотрены различные методы исследования демпфирующих свойств материалов, их достоинства и недостатки, выбран наиболее эффективный метод исследования. Создана схема устройства для исследования демпфирующих свойств материалов, на основе существующего устройства. Создана математическая модель, описывающая демпфирующие свойства выбранных материалов. Проведено исследование демпфирующих свойств материалов с помощью математической модели и при помощи устройства для исследования демпфирующих свойств. На основании анализа полученных данных при моделировании и при в результате проведения эксперимента выявлен материал, обладающий наиболее выраженными демпфирующими свойствами – АМг6. Проведено сравнение результатов математического моделирования с данными, полученными в результате проведения экспериментов.

В ходе выполнения раздела финансового менеджмента определена чистая текущая стоимость, (NPV), равная 542089,4 руб.; индекс доходности PI=1,89, внутренняя ставка доходности IRR=74%, срок окупаемости РРдск=1,12 года. Таким образом мы имеем ресурсоэффективный проект с высоким запасом финансовой прочности и коротким сроком окупаемости.

В результате выполнения раздела магистерской диссертации «Социальная ответственность» можно сделать вывод, что фактические значения потенциально возможных факторов соответствуют нормативным значениям.

Список литературы:

1. ГОСТ 24346-80 Вибрация. Термины и определения – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.
2. Dubinova Yu. S., Elagina O. Yu., Dubinova O. B., Buklakov A. G., Kulikova I. S. Influence of the Vibration Parameters on the Destruction of Abrasives under Sliding Friction. Inorganic Materials: Applied Research, 2021, Vol. 12, No. 2, pp. 576–580.
3. Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: учебник для вузов / Ю.П. Солнцев, Е.И. Пряхин. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: ХИМИЗДАТ, 2007. – 784 с.
4. Головин И.С. Внутреннее трение и механическая спектроскопия металлических материалов. М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. - 247 с.
5. ГОСТ Р 53190-2008 (МЭК 60068-2-81:2003) Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на удар с воспроизведением ударного спектра – М.: Стандартинформ, 2009. – 28 с.
6. ГОСТ ИСО 10112-2002 Материалы демпфирующие. Графическое представление комплексных модулей упругости – М.:Стандартинформ, 2007. – 12 с.
7. ГОСТ 30630.1.2-99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на действие вибрации – М.: ИПКИздательство стандартов, 2000. – 35 с.
8. Патент № 1824536 Российская Федерация. Устройство для определения пластичности и вязкости упруговязких материалов: № 4932347: заявлено 28.01.1991: опубликовано 30.06.1993 / Фролов Д.Н., Крауиньш П.Я., Смайлов С.А., Гаврилин А.Н., Дулинец В.М.; заявитель ТПУ. – 3 с.
9. Technological complex for processing vermiculite concentrates and conglomerates / A.I. Nizhegorodov, A.N. Gavrilin, B.B. Moyzes et al. // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering. – 2018. – 329(11) – P.

74–86.

10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ: № 2017614049 Российская Федерация, Виброрегистратор: опубликовано 05.04.17./ Гаврилин А.Н., Серебряков К.В., Мельнов К.В., Хайруллин А.Р., Мойзес Б.Б.

11. Mobile Complex for Rapid Diagnosis of the Technological System Elements / A.Gavrilin, B. Moyzes, A. Cherkasov et al. // MATEC Web of Conferences. – 2016. – 79. – 01078.

12. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т./ [В.Н. Челомей]; под ред. М.Д. Генкина. – М.: Машиностроение, 1981. – Т. 5. Измерения и испытания. – 1981. – 496с.

13. Герчикова, Ирина Никоновна. Менеджмент: учебник для вузов / И.Н. Герчикова. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2014. – 511 с.

14. Мескон, Майкл. Основы менеджмента: пер. с англ.: учебное пособие / М.Х. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – 3-е изд. – Москва: Вильямс, 2008. – 666 с.

15. Друкер, Питер Ф.. Практика менеджмента: пер с англ. / П.Ф.Друкер. – Москва: Вильямс 2002. – 398 с.

16. СанПиН 2.2.2/2.2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498>

17. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200136071>

18. ГОСТ 12.1.012 – 90 ССБТ Вибрационная болезнь. Общие требования. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200059881>

19. ГОСТ 12.1.003-2014 «Шум. Общие требования безопасности.» [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200118606>

20. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197>

21. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200161238>

22. ГОСТ 12.2.003-91. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование производственное. Общие требования безопасности. [Электронный ресурс] / Консорциум Кодес. Электрон. Дан. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901702428>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Study of the damping properties of materials

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4HM01	Хамидов Бобуржон Хамид угли		

Консультант школы отделения (НОЦ) _____ (ШБИП ОИЯ) :

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ	Зяброва Наталья Николаевна	к.ф.н.		

1 Information and analytical review

1.1 Classification of materials for the study of damping properties

Let's consider the main materials that can be used to study the damping properties of materials, such as: Materials with high structural heterogeneity, Materials with magnetic domains, Materials with thermoelastic martensite [2-4].

1.1.1 Materials with high structural heterogeneity

Such materials include: gray cast irons, steels, metal-based pseudo-alloys, aluminum- and bronze-based alloys, highly porous materials, and foam metals [2].

The main vibration damping mechanism for materials with a high heterogeneity of the structure is divided into three parts: 1) plastic deformation of the "soft" structural component - the slight deformability of one of the phases in the material structure leads to a change in the stress state of the structure; 2) the effect of vibration damping as a result of internal friction in the structure; 3) local (or local) deformation of the structure near the existing stress concentrators.

Also, in a number of works, the contribution of the magnetomechanical damping mechanism in ferromagnetic materials is mentioned, thus, due to the magnetization of the ferrite phase, the vibration damping effect occurs more efficiently [2].

The damping process is highly dependent on the shape and mechanical properties of the phases. In spherical phases, such as nodular graphite in high-strength modified cast irons, elastic-plastic deformation occurs along the interface when shear stresses appear in values above the yield strength of the material.

If the difference between the mechanical properties of the phases that make up the structure increases, the process of plastic shear deceleration occurs in the "soft" phases, and the "hard" phase is weakened by the resulting stress concentration along the interface, which causes plastic flow [2].

If the mechanical properties of the "soft" and "hard" phases are close in their values, then plastic flow occurs primarily in the "hard phase".

The investigated materials from this group have more pronounced damping properties.

1.1.2 Materials with magnetic domains

These materials include: iron-based alloys, cobalt- and nickel-based alloys, and amorphous magnetically soft materials [3].

This vibration damping mechanism occurs due to the presence of magnetic domains in the structure of the material and the special crystalline structure of the material.

A domain is a macroscopic region in a magnetic crystal, consisting of a huge number of ordered atoms, which can be polarized to the required values.

Due to these features, it is possible to control the damping capacity and strength characteristics of the material by conducting heat treatment and changing the chemical composition.

When stresses are applied in the ferromagnetic phase of the material, the domain boundary is displaced against the force that returns it to its original position. When the domain boundary reaches a position where the return force has a maximum value, the position becomes non-equilibrium and the domain boundary shifts in a new direction. This shift is called the Barkhausen jump.

In polydomain ferromagnetic materials, displacements of domain boundaries cause Barkhausen noise and an irreversible change in the domain structure. In the process of change, energy is dissipated [3].

The materials of this group have a complex damping mechanism that requires special conditions, for example, a special crystalline structure of the material.

1.1.3 Materials with thermoelastic martensite

These materials include: nitinols, copper-aluminum, copper-zinc and copper-tin alloys [3].

The damping ability of these materials is manifested due to the reversible processes of phase transitions and the presence of elastic twinning in the material.

Twinning is the formation of regions with a mirror-changed crystal lattice in a certain plane by turning the lattice around an axis, either at a certain angle, or by any other symmetry transformation [4].

The martensitic transformation is either partially or completely reversible due to thermoelastic transformation. During the formation of martensite inside the initial high-temperature phase, elastic and surface energy appear. If the growth of martensite crystals is not accompanied by plastic deformation, then the martensitic transformation is a completely reversible process. The temperature range between the transformations is small, about 20 degrees Celsius, and the structure of the high-temperature phase is completely restored during the reverse transformation.

In the region of phase transformation, the crystal lattice becomes unstable and plastic deformations and energy dissipation occur. The phase transition is accompanied by an increase in internal friction in the structure, which is independent of the vibration frequencies. A characteristic feature is the "softening" of the elastic modulus E of the phases in the region of the phase transition, which leads to a large difference between the elastic moduli ΔE [4].

The materials of this group for the manifestation of damping properties require additional thermal exposure, which limits their application.

1.1.4 Selected materials

Based on the considered materials, it can be concluded that they all have their own damping mechanism, as well as their own mechanical properties.

1) Materials with a high heterogeneity of the structure have more pronounced damping properties, since, due to the magnetization of the ferrite phase, the vibration damping effect is more effective.

2) Materials with magnetic domains have a complex damping mechanism that requires special conditions, such as a special crystal structure of the material.

3) Materials with thermoelastic martensite require additional thermal action for the manifestation of damping properties, which limits their application.

Thus, it is expedient to study materials with a highly heterogeneous structure with pronounced damping properties. These materials include steel, aluminum alloys, bronze alloys.

Therefore, the following samples were studied as materials in the work: Steel 40Kh, AMg6, BrS30.

1.2 Standards for the study of damping properties of materials

To measure the characteristics of the damping capacity (or internal friction) of materials, the following regulatory documents exist:

- GOST R53190-2008 (IEC 60068-2-81:2003) "Methods of testing for resistance to mechanical external factors of machines, devices and other technical products. Impact tests with reproduction of the impact spectrum" [5].

- GOST ISO 10112-2002 "Damping materials. Graphical representation of complex moduli of elasticity" [6].

However, these methods are not always possible to use to assess the damping properties of materials, since they are implemented only for a certain group of impacts, or for acoustic vibrations, which differs when compared with mechanical vibrations.

1.3 Methods for studying the damping properties of materials

There are various methods for studying the damping properties of materials, such as: acoustic method, dynamic method and mechanical method [7].

1.3.1 Acoustic method

Acoustic vibrations are formed under the influence of mechanical vibrations and easily propagate in elastic media [7].

Acoustic vibrations can be audible or inaudible. Oscillations in the range from 16 Hz to 20 kHz are called sound, as they are perceived by a person, and with a frequency of less than 16 Hz - infrasonic, above 20 kHz - ultrasonic. Propagating in space, sound vibrations create an acoustic field [7].

The oscillations shown in the figure (Fig.1.3.1.1) are characterized by the following oscillation parameters: amplitude; speed; acceleration; period; frequency.

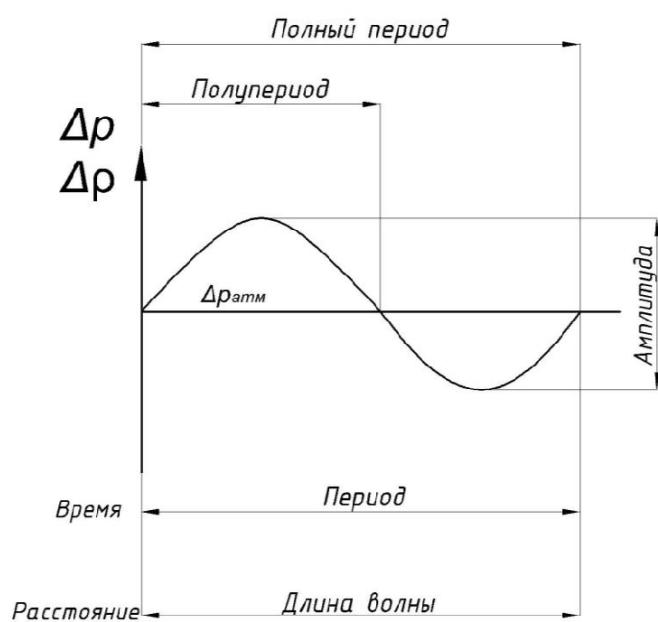


Figure 1.3.1.1 - Characteristics of the wave

The acoustic method can be used to determine the damping properties of materials. The acoustic method shown in the figure (Fig.1.3.1.2) consists in measuring the decay rate of forced vibrations of various materials.



Figure 1.3.1.2 - Acoustic method

To conduct this study, samples are made in the form of a glass or a bell with a hole in the lower part by the sheet stamping method. The sample is suspended and forced sound vibrations are created on the surface with the help of a rod. Next, the damping time of oscillations to a complete stop is determined. Based on these measurements, the characteristics of the damping ability of materials and the range of its changes from the structure and state are determined. The faster the vibrations decay, the higher the damping capacity of the material, and vice versa [7].

The advantages of using the acoustic method are: ease of execution, ease of use. The disadvantages of the method are: the difficulty in fixing the speed of acoustic vibrations at certain frequencies, the relative inaccuracy in fixing the data obtained.

1.3.2 Dynamic method

The dynamic method for studying the damping properties of materials consists in assessing the dynamic characteristics of structures from their degree of prestressing. Depending on the stress-strain state in the structure, vibrations can be excited by throwing a load onto the surface of the structure or by quickly removing the load from the structure. At the moment of loading-unloading, vibrations are recorded, for example, by means of a deflection meter, and the maximum deviations can be used to judge the magnitude of the energy damping coefficient and the vibration damping decrement. As an example, shown in the figure (Fig.1.3.2.1), a variant of the deflection of the bridge span is considered and measured [7].

This method has limitations: the deflection must occur within the stress limits that do not cause the formation of cracks in the structure.

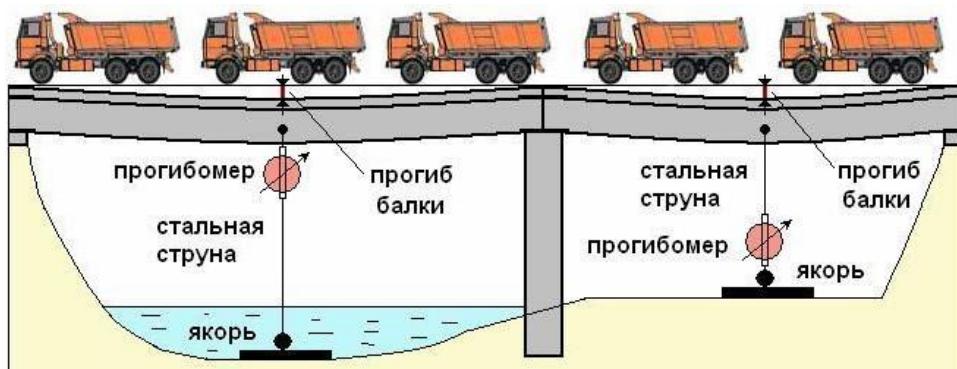


Figure 1.3.2.1 - Calculation method by deflection

The advantages of the dynamic method of research are: high accuracy of the data obtained, a wide possibility of implementation, ease of execution, ease of use.

The disadvantages of the dynamic method is the limited working area.

1.3.3 Mechanical method

The mechanical method of studying the damping properties of materials is used to assess the damping ability of materials by acoustic vibrations. The method consists in fixing the maximum and minimum peak readings of the sound level meter (either by arithmetic mean readings or by octave readings, depending on the requirements for measurements) installed inside the noise and vibration isolated cylindrical device shown in the figure (Fig. 1.3.3.1). Inside the device, a sample of the material under study is installed, which is subjected to mechanical action, namely, an impact load of a fixed mass from a measured height, causing vibrations that are measured by an acoustic device [7].

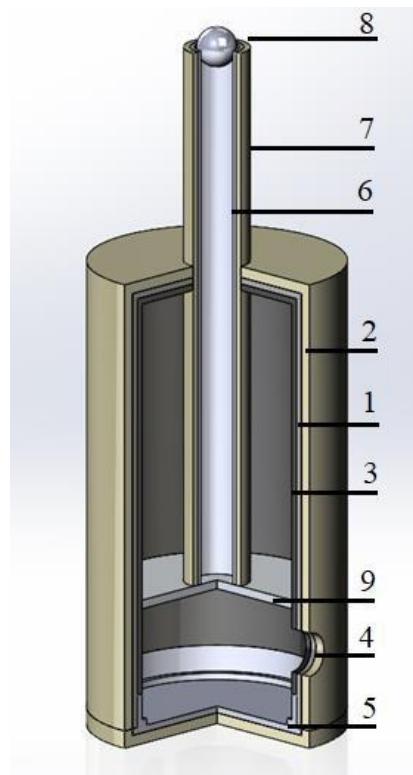


Figure 1.3.3.1 - 3D model of the proposed installation:

1 - case, 2 - noise isolation, 3 - vibration isolation, 4 - hole for sound level meter, 5 - bottom cover, 6 - tube, 7 - tube noise isolation, 8 - ball, 9 - sample

The laboratory setup (Fig.1.3.3.1) is arranged as follows. There is a housing 1 in the form of an elongated cylinder, on the outer and inner sides of which there is noise insulation 2 and vibration isolation 3. Hole 4 is designed to install a sound level

meter. Samples 9 in various quantities are placed inside the case, above and below the sound level meter, which is shown in the figure (Fig. 1.3.3.2) 1.4. After that, tube 6 is placed through the upper opening of the housing in noise insulation 7. The impact on the samples is carried out with the help of ball 8 falling with zero initial velocity from the height of tube 6 [7].

The sound level meter records the minimum and maximum noise level (in dB) when the ball falls. The difference between these values shows the level of acoustic vibrations (forced vibrations) of each sample when exposed to it. Accordingly, the greater the difference in values, the better the damping ability of the material [7].

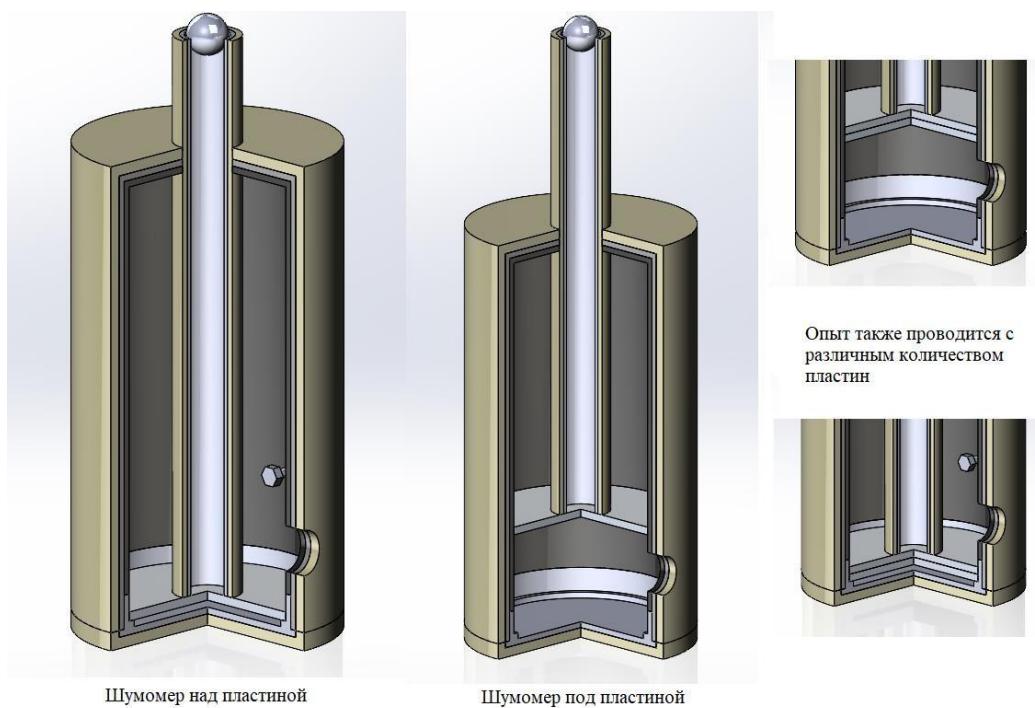


Figure 1.3.3.2 - Schemes of the experiment

The advantages of the mechanical method lie in the relatively high measurement accuracy.

The disadvantages of the mechanical method are: complexity in execution, relative complexity in fixing the results obtained, a large number of components for the device.

1.3.4 Selected research method

Of the above methods for studying the damping properties of materials, such as: acoustic method, dynamic method and mechanical method, it is most preferable to use the dynamic method in the study, since it has most of the advantages, such as: high accuracy of the results obtained, wide possibility of implementation, ease of execution, ease of use. In turn, the acoustic and mechanical methods do not have a high accuracy of the results obtained, and are also more complex in execution compared to the dynamic method.

Thus, in this study, a dynamic method for studying the damping properties of materials is used.

2 Object and methods of research

Object of study: Samples with surfacing materials, Steel 40X, AMg6, BrS30, with damping properties.

Research methods: Mathematical modeling of the operation of the device and the dynamic method of conducting experiments to study the damping properties of materials.

2.1 Schematic diagram and principle of operation of the device

Traditionally, to determine the damping properties of materials and assemblies, an estimate is used based on the damping decrement, which implies some impulsive action on the test sample. However, this method is not always applicable, since a sufficiently large sample is required, as well as the occurrence of measurement errors. It should be noted that in the manufacture of parts by welding, additive technology or other methods, the test sample may have insufficient geometric dimensions.

Therefore, to determine the damping properties of materials, a universal device is required that can determine these properties with high reliability in a wide frequency range and small geometric dimensions of the sample under various loading methods (compression, bending, torsion) [8].

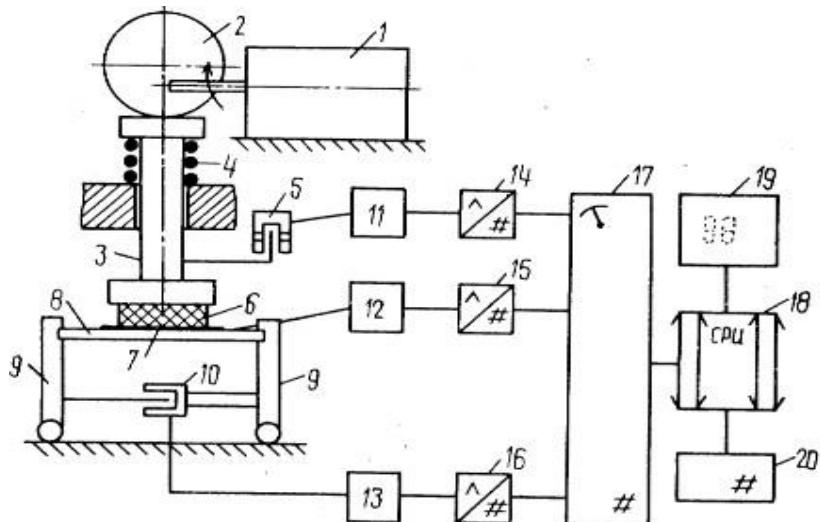


Figure 2.1.1 - Device for determining the damping properties of materials

The test sample - 6 certain geometric dimensions is installed between the pusher - 3 and the compensating spring - 8. The spring - 4 presses the pusher to the cam - 2.

The principle of operation of the device for determining the damping properties of materials (Fig.2.1.1) [8] is as follows: when the drive is turned on - 1 cam communicates reciprocating motion to the pusher - 3, which acts on the sample - 6. Sensor - 5 registers the vibration displacement of the pusher - 3. The deformation of the compensating spring, the stiffness of which is two to three orders of magnitude greater than the stiffness of the sample, is recorded by a force sensor - 10.

The data from these sensors are transmitted through the ADC - 11, 12, 13 to amplifiers - 14, 15, 16 and then through the appropriate interface - 17 to the computer - 18. The values of vibration displacement and force, by which the damping coefficient is determined, are analyzed on a PC.

To determine the damping properties, the method proposed by A.S. Glazyrin in [9], by identifying the values of vibration parameters (vibration displacement and vibration velocity). It should be noted the complexity of the implementation of such an installation and the complexity of its settings, so the installation was later modified (Fig. 2.1.2).

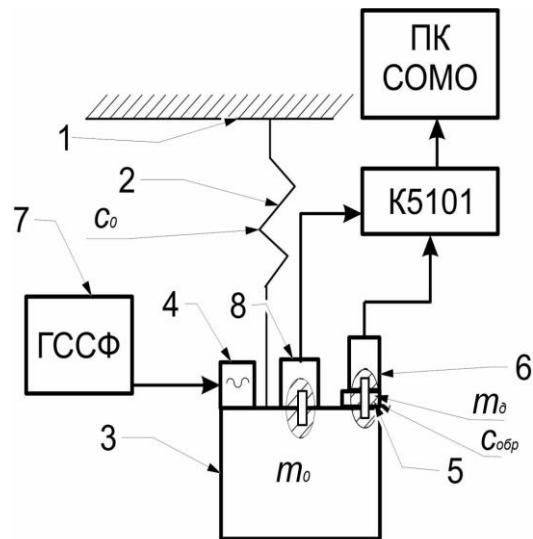


Figure. 2.1.2 - Device for determining the damping properties of materials:
 1 - housing, 2 - spring, 3 - mass, 4 - electromechanical generator, 5 - test sample, 6,
 8 - accelerometers, 7 - special form signal generator

The figure (Fig.2.1.3) shows the forms of the measured signals: a) from the input accelerometer - 8, installed on the ground - 3; b) from the accelerometer - 6 installed on the test sample - 5.

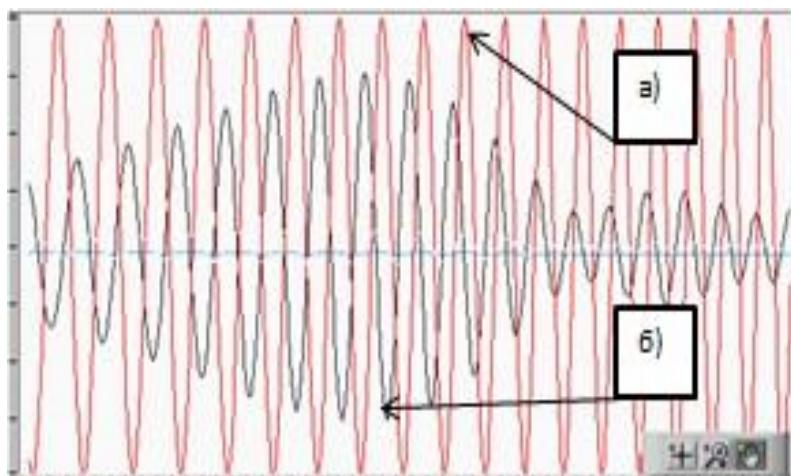


Figure 2.1.3 - Forms of the measured signals: a) input from the accelerometer - 8; b)
 from the accelerometer - 6 installed on the test sample - 5.

The test sample of given dimensions - 5 is installed on the mass - 3, which is attached to the body through the spring - 2 - 1. Excitation of mass oscillations - 3 is carried out by an electromechanical generator - 4, while the excited (input) vibration is measured by an accelerometer - 8, and on the sample - 5, - accelerometer - 6. Data

from accelerometers - 6, 8 are transmitted to the vibration measuring complex K-5101 and PC with SPMO "Vibroregistrator-M" [10,11] for further analysis.

The peculiarity of this scheme is that the spring stiffness - 3 and the mass of the base - 2 form an oscillatory system, the natural frequency of which is two orders of magnitude less than the frequency of excitation by the generator - 4, used to determine the damping properties of the sample.