

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

Школа - ИШЭ

Направление подготовки -13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электромагнитная колебательная шаровая мельница

УДК 62-83:621.926.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Романцов Роман Игоревич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Данекер В.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И.В.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Тютеева П.В.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г

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

Школа ИШЭ

Направление подготовки - 13.03. 02 Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
Доцент ОЭЭ ИШЭ Тютеева П.В.

(Подпись) (Дата)
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Романцову Роману Игоревичу

Тема работы:

Электромагнитная колебательная шаровая мельница	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-78/с 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2020 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>1. Шаровая мельница (ШМ) должна использовать электропривод электромагнитного типа. 2. Экспериментальный образец ШМ разрабатывается на базе аналога ШМ небольшой мощности. 3. Электропитание от промышленной сети переменного тока</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>1. Выбор аналога для разработки ШМ 2. Разработка конструктивных основ ШМ 3. Расчёт основных параметров электропривода 4. Разработка математической модели ШМ 5. Анализ режимов работы ШМ 6. Разработка практических рекомендаций по эксплуатации разработанной ШМ</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Эскиз пружины. 2. Эскиз конструкции ШМ. 3. Лист магнитопровода</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p>	<p>Подопригора Игнат Валерьевич</p>
<p>«Социальная ответственность»</p>	<p>Мезенцева Ирина Леонидовна</p>
<p></p>	<p></p>
<p></p>	<p></p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p></p>	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭЭ ИШЭ	Данекер В.А.	к.т.н.		29.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Романцов Р.И.		29.02.2020 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Романцов Роман Игоревич

Школа	ИШЭ	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	«Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных затрат, оплаты труда, прочие затраты.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30 % премии 20 % надбавки 16% накладные расходы 13% районный коэффициент
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	27,1% отчисления на социальные нужды

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	SWOT - анализ по разработке проекта модернизации шаровых мельниц.
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Формирование плана и графика разработки: - определение структуры работ; -определение трудоемкости работ; -разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: -материальные затраты; -заработная плата (основная и дополнительная); -отчисления на социальные цели; - накладные расходы.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Подопригора И. В.	К.Э.Н		

Задание выдал консультант:

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Романцов роман Игоревич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6К	Романцов Роман Игоревич

Школа	ИШЭ	Отделение (НОЦ)	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Электромагнитная колебательная шаровая мельница	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Электромагнитная колебательная шаровая мельница для измельчения твёрдых материалов
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Правила безопасного ведения работ регламентируются в ПБ 03-571-03 «Единые правила безопасности при дроблении, сортировке, обогащении полезных ископаемых и окучивании руд и концентратов».
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Повышенный уровень вибрации. 2. Превышение уровня шума. 3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи.
3. Экологическая безопасность:	Воздействие на атмосферу: – Выбросы пыли и шлама разрушаемых пород.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	ЧС техногенного характера: пожары, взрывы, угрозы взрывов на

	<p>технологическом оборудовании; внезапное разрушение зданий и сооружений.</p> <p>– Типичная ЧС – внезапное разрушение зданий и сооружений.</p>
--	---

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6К	Романцов Р.И.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 109 с., 37 рис., 21 табл., 18 источников и 4 приложений.

Ключевые слова: измельчение, вибрационная мельница, шаровая мельница, колебания, горные породы, электромагнит.

Цель работы – разработка промышленного устройства измельчения рудного материала среднего класса колебательного типа.

Объектом исследования является колебательная шаровая мельница с объемом помольной камеры 1000 литров, использующая тяговый электромагнит.

В процессе исследования проводилось создание конструкции и ее математической модели, выбор возмущающей силы и анализ режимов работы электромагнитной шаровой колебательной мельницы вибрационного типа (ЭШМКТ).

В результате исследования был разработан и экономически обоснован проект колебательной шаровой мельницы.

Выпускная квалификационная работа выполнена с помощью компьютерных программ Microsoft Office 2016, Mathcad 15 и MathType, КОМПАС-3D v18.1, PaintNET.

Оглавление

Реферат	8
ВВЕДЕНИЕ	11
1. СОСТОЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВИБРОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ	14
1.1 Основные направления совершенствования техники и технологии виброизмельчения	14
1.2. Анализ различных конструкций вибрационных мельниц и пути их дальнейшего совершенствования	17
2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ОСНОВ ШАРОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ	28
2.1 Описание конструкции и принципа ее действия	28
2.2 Выбор и описание основных характеристик разрабатываемого устройства	30
3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	36
4. СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ СИЛЫ	39
5. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ	47
5.1 Построение характеристик ЭШМКТ при постоянных параметрах m_1 , m_2 и C_1	47
5.2 Определение зоны стабильных колебаний материала, содержащегося в помольной камере	54
5.3 Исследование колебаний при различных соотношениях масс m_1 и m_2	59
5.4 Исследование колебаний при изменении величины R_2	61
6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	63
6.1 Анализ конкурентных технических решений	63
6.2 SWOT-анализ проекта	65
6.3 Планирование научно-исследовательских работ	69
6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	69
6.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта	70
6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	71

6.4 Расчет бюджета для научно-технического исследования.....	75
6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	75
6.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы.....	78
6.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	80
6.4.4 Накладные расходы.....	81
6.4.5 Формирование сметы технического проекта	81
6.5 Определение ресурсоэффективности проекта	82
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	85
7.1 Введение.....	85
7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	85
7.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	85
7.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	86
7.2 Производственная безопасность.....	87
7.3 Экологическая безопасность.....	91
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	97
ПРИЛОЖЕНИЕ А	100
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	107
ПРИЛОЖЕНИЕ В	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	109

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент, условия рынка в Российской Федерации оказывают влияние на работу всех отраслей промышленности. Цены на энергоресурсы повышаются, а, следовательно, растёт и себестоимость готовой продукции. Рост расходов на топливо и энергию приводит к повышению стоимости производства строительных материалов, без которых не обойдётся ни одна отрасль народного хозяйства. Решая задачу повышения эффективности работы существующего оборудования, используемого в различных технологических операциях, можно найти решение экономящее используемые средства и ресурсы.

В нынешних строительных технологиях производства и отделочных материалов, а также многих других промышленности, материалы дробления и измельчения (тонкодисперсные порошки) главным образом влияют на качество готовой продукции.

Размер и качество материалов помола играет ключевую роль в интенсификации различных технологических процессов. Так, при изготовлении цемента, уменьшение размера крупиц цемента на 60-70% могут вдвое повысить его марку и существенно уменьшить время его затвердевания.

Помимо этого, различная степень измельчения материала, может придать ему разные физико-химические свойства, позволяющие, например, уменьшить расход материала, потребление энергии, придать дополнительную твёрдость, прочность, термостойкость и многие другие особенности. Для этих нужд, существует целый ряд машин тонкого и сверхтонкого помола.

В последнее время, наиболее перспективным методом тонкого и сверхтонкого помола, нашедшим промышленное применение, является вибрационный метод измельчения.

В процессе оптимального метода измельчения были разработаны различные способы помола и типы мельниц для каждого из них. Особое место занимают вибрационные мельницы, которые наиболее эффективны при тонком диспергировании, причем, чем тоньше помол, тем выше эффективность измельчения. Предшественниками вибрационных мельниц были шаровые, но для достижения нужной тонины помола продолжительность измельчения в шаровой вращающейся мельнице иногда достигала десятков и даже сотен часов. Малая энергонапряженность вращающихся мельниц вызвала необходимость создания машин, в которых движение мелющих тел осуществляется с ускорениями, значительно превышающими ускорение сил тяжести. Из машин такого рода наибольшее признание получили вибрационные мельницы [1].

Но, как было сказано ранее, вибрационные мельницы эффективны при тонком помоле и работе с малыми нагрузками. Таким образом возникает вопрос: возможно ли сохранить эффективность вибрационной мельницы при крупном диспергировании и работе в средних промышленных условиях?

Цель работы - исследование и получение технологических и конструктивных параметров вибрационной мельницы, обеспечивающей удовлетворительное измельчение материала в промышленных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ технологии виброизмельчения;
2. Разработка основных параметров конструкции КШМ;
3. Создание математической модели КШМ;
4. Анализ режимов работы КШМ;
5. Выбор электродвигателя с дебалансом;

6. Разработка рекомендаций по оптимизации режимов работы КШМ при её эксплуатации.

1. СОСТОЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ВИБРОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

1.1 Основные направления совершенствования техники и технологии виброизмельчения

В колебательных мельницах можно получить не только разнонаправленное движение, но и различные скоростные режимы, позволяющие регулировать характер измельчения. Из-за этого растет диапазон размеров измельчения частиц материала. При сухом помоле размер частиц колеблется от 5-100 мкм, при мокром - от ОД — 30 мкм [2].

Вибрационные мельницы способны измельчать материалы разной твердости, благодаря высокому уровню интенсивности и плотности энергии (энергонапряженности рабочего процесса). Это делает возможным их применение в различных отраслях промышленности: производстве строй. материалов, порошковой металлургии, пищевой промышленности, а также в качестве реакторов в хим. промышленности.

Под влиянием вибрации корпуса материалы помола совершают сложные движения. Мелющие тела подбрасываются, соударяются друг с другом и скользят по стенкам корпуса. Такие высокочастотные столкновений обеспечивает усталостный режим разрушения материала измельчения.

По сравнению с барабанными мельницами, колебательные быстрее измельчают материал, а их металлоемкость, размеры и эксплуатационные затраты ниже.

Основными параметрами, влияющими на процесс виброизмельчения, являются: частота колебаний, амплитуда, размеры и степень загрузки мелющих тел и форма траектории их движения внутри помольной камеры.

В настоящее время существует множество конструкций вибрационных мельниц. Все они разнообразны и имеют конструктивные особенности. Несмотря на многолетний опыт исследования в данной области, определенной систематизации и комплексной классификации вибрационных мельниц не разработано. Скорее всего это связано с многообразием установок. На рис. 1.1 систематизированная классификация вибрационных мельниц, разработанная Абдуловой С.Р. [3].

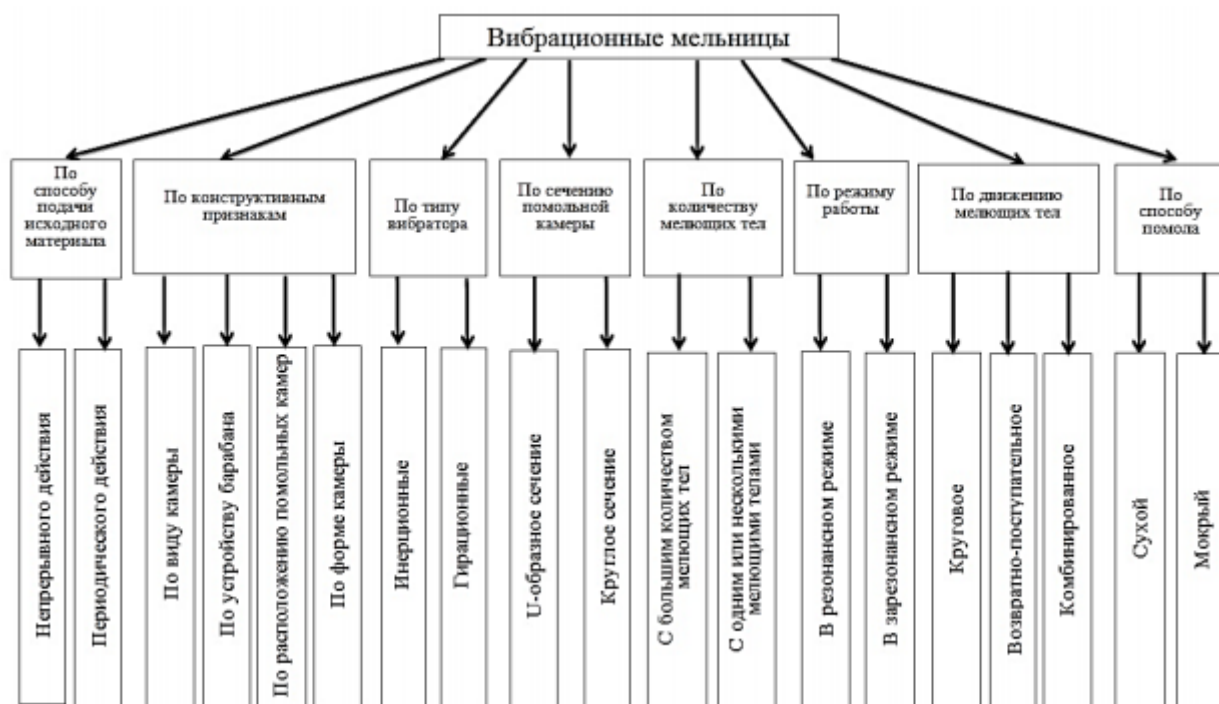


Рис. 1.1 Классификация вибрационных мельниц

Измельчение материалов в может происходить несколькими классическими способами: раздавливанием, ударом, изломом, истиранием и их сочетанием [4].

Сейчас, совершенствование вибрационной измельчительной техники ведётся в направлении повышения её производительности и снижения энергоёмкости. Этого можно достичь путем использования таких механизмов

разрушения, при которых в материале помола формируется сложное напряжённое состояние с упругими деформациями сжатия, растяжения, сдвига и изгиба.

Колебательная мельница - это пространственная конструкция, состоящую из помольной камеры (одной или нескольких), заполненных мелющими телами и материалом помола примерно на 70—90% объема, которая находится на упругой опоре и приводится в движение вибровозбудителями. Амплитуда ускорения движения корпуса мельницы достигает значений порядка 50 - 500 м/сек². Таким образом, загрузка подвергается значительным усилиям, измельчая материал.

Диапазоны характеристик вибрационных мельниц приведены в табл. 1.1.

Табл.1.1 Диапазоны показателей вибромельниц

№	Характеристика	Диапазон характеристики
1	Производительность, т\ч	0,07-60
2	Мощность, кВт	3-500
3	Масса полная, т	0,5-11,7
4	Диаметр камеры, м	0,15-1,0
5	Длина камеры, м	0,45-4
6	Масса мелющих тел, т	0,15-35
7	Амплитуда, мм	2-25
8	Частота, Гц	16-50
9	Вместимость, л	1,2-2000

10	Крупность исходного материала, мм	5-30
----	--------------------------------------	------

1.2. Анализ различных конструкций вибрационных мельниц и пути их дальнейшего совершенствования

Для того чтобы выполнить поставленные задачи, необходимы ознакомиться с различными вибрационными мельницами, которые уже нашли своё применение. Начнём с модели представленной в авторском свидетельстве №871820 [5].

Изобретение относится к измельчению твердых материалов, горных пород, руд, а именно к шаровым мельницам вибрационного действия, и может быть использовано в химической и металлургической отраслях промышленности, в обогащении руд и производстве стройматериалов.

Данная модель спроектирована для измельчения руд, горных пород и твёрдых материалов.

На рис. 1.2 можно увидеть конструктивные особенности данного устройства.

Внутри трубчатого корпуса **1** с левой **2** и правой **3** крышками аксиально, с кольцевым зазором смонтирована с помощью левой крышки и подвижной крышки **4**, снабженных фиксирующими шейками **5**, помольная камера **6**. Последняя представляет собой винтовую, преимущественно цилиндрическую, пружину (сжатия или растяжения в зависимости от конструкции шеек **5**) предрасчетной жесткости. Корпус, несущий вибропривод **7** и опирающийся на пружины **8** снабжен загрузочным **9** и выгрузочным **10** патрубками. Крышка **4**

установлена в корпусе с возможностью продольного перемещения под воздействием винта **11**.

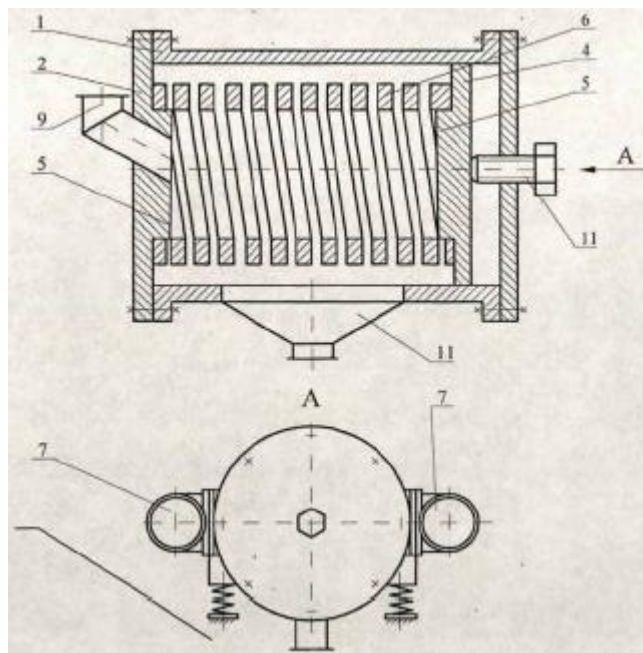


Рис. 1.2 Конструкция вибрационной мельницы (а.с. №871820): 1- корпус, 2- левая крышка, 3- правая крышка, 4 –подвижная крышка, 5 – шейка, 6 – помольная камера, 7 – вибропривод, 8-пружины, 9 – загрузочный патрубок, 10 – выгрузочный патрубок, 11- винт

В процессе работы мельницы вибропривод генерирует преимущественно круговые колебания корпуса **1** с камерой **6** и исходный материал, загружаемый в камеру через патрубок **9**, подвергается (совместно с мелющими телами в ней) вибрированию. Продукт измельчения проходит через межвитковые щели пружины и сыпается в патрубок **10** на выгрузку.

По мере износа пружины и расширения щелей, а в случае необходимости для регулирования их ширины, ввинчивают винт **11** [2].

Эта мельница особенно удобна и имеет низкие затраты на обслуживание из-за простоты управления шириной пространства межвитковых щелей винтом **11**.

К недостаткам данной конструкции можно отнести недостаточные динамические воздействия на материал, которые существенно снижают интенсивность помола в представленной конструкции.

Недостатком модели, можно назвать малые воздействия на материал, вследствие которых мельница имеет не очень высокий показатель интенсивности помола.

Компанией «Вибротехцентр-КТ» предложена вибрационная мельница МВ-0.2, изображенная на рис. 1.3.

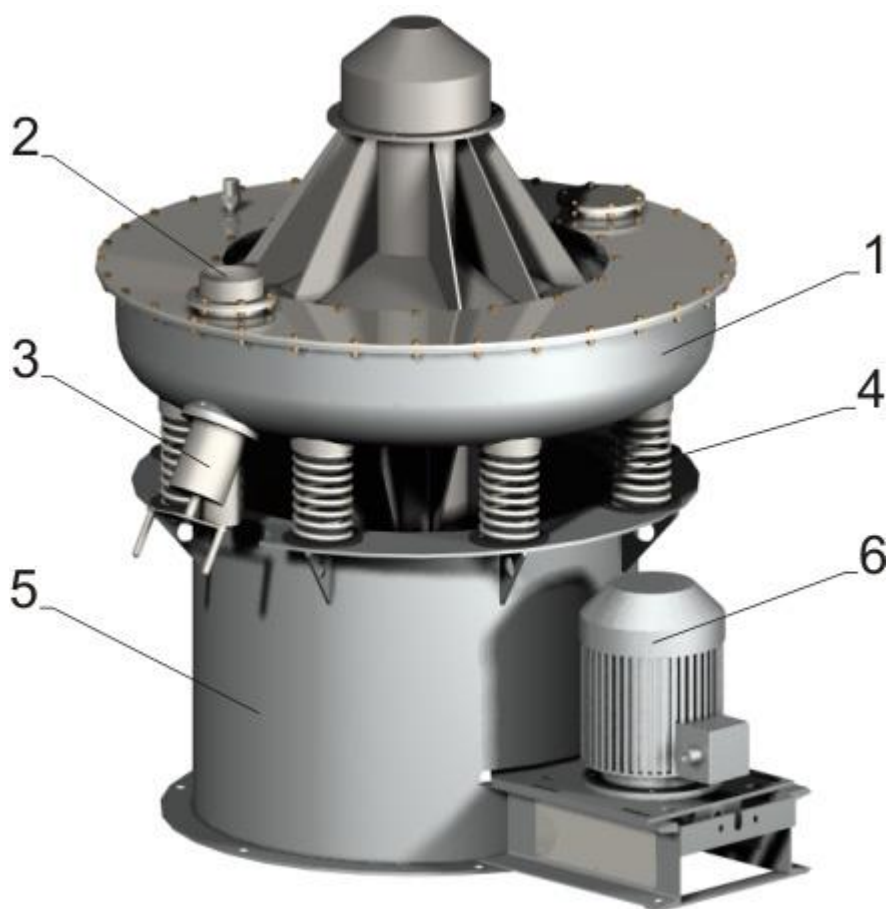


Рис. 1.3 Конструкция вибрационной мельницы МВ-0.2: 1- помольная камера, 2- патрубок загрузки, 3- клапан разгрузки, 4 –пружинный подвес, 5 – опорная рама, 6 – электродвигатель

Помольная камера 1 представляет собой сварную металлоконструкцию, выполненную в виде тора. Она на 80% заполняется мелющими телами. В зависимости от измельчаемого материала мелющие тела могут быть различной формы (шары, цилиндры, конусы и т.д.). Кроме того, мелющие тела могут изготавливаться из разных материалов. Они бывают как металлические (например, подшипниковые шары), так и выполненные из металлокерамики (цильпебс).

Объем материала помола не превышает трети объёма помольной камеры.

Для разгрузки помольной камеры от готового продукта, имеется клапан разгрузки 3.

Материал разгружается через щелевые отверстия в решетке, которые закрываются клапаном, шарнирно закрепленном на штоке.

Клапан разгрузки 3 открывается вручную вращением болта с рукояткой.

Вибровозбудитель является основным узлом вибрационной мельницы и предназначен для сообщения колебаний рабочей камере. Вибровозбудитель(вибратор) инерционного типа располагается в центральной части вибромельницы. Ось вибропривода лежит в вертикальной плоскости и совпадает с центральной осью торовой камеры. Возмущающая сила создается вследствие вращения неуравновешенных масс (дебалансов) расположенных на обоих концах вала вибровозбудителя.

На мельнице МВ-0.2 установлено два вибратора, нижний и верхний. Между собой валы обоих вибраторов соединены упругой муфтой. Вибровозбудители приводятся во вращение электродвигателем. От вала электродвигателя вращение посредством клиноременной передачи передаётся на подшипниковый блок, закреплённый на опорной раме, и далее через лепестковую

муфту типа МУЛ поступает на вибропривод. Техническая характеристика вибрационной мельницы МВ-0,2 приведена в табл. 1.2.

Табл.1.2 Характеристики вибрационной мельницы МВ-0,2

№	Характеристики	Значения характеристик
1	Вместительность камеры, м ³	0,2
2	Объём загружаемого материала, м ³	0,07
3	Мощность, кВт	11,0
4	Габаритны ДхШхВ, мм	2070х1700х1700
5	Масса (без мелющих тел), кг	1500

По однокамерной схеме с вибровозбудителем, расположенным горизонтально внутри помольной камеры, собраны мельницы типа МВ ООО «СТРОЙТЕХНОЛОГИЯ».

В случае, когда вибровозбудитель находится не снаружи, а внутри помольной камеры (рис. 1.4), вибромельница приобретает следующие недостатки: затрудняется работа мелющих тел, уменьшается объём рабочей камеры, затрудняется обслуживание и разгрузка камеры и увеличивается износ вибровозбудителя.

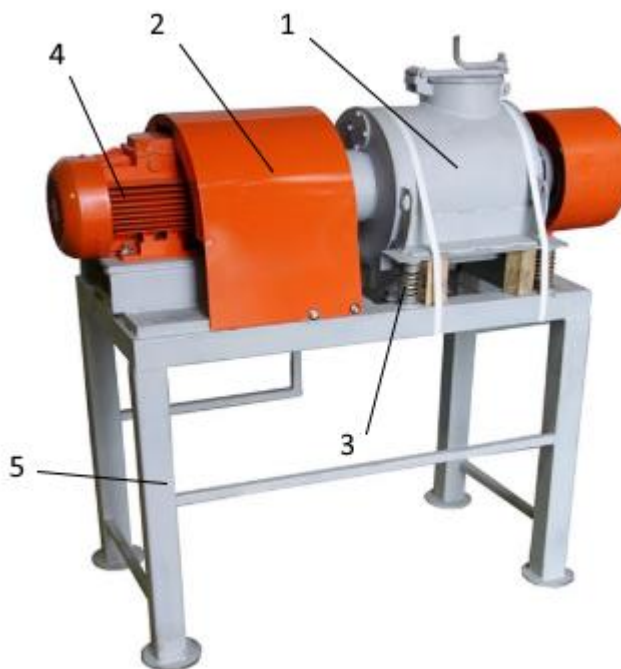


Рис. 1.4 Конструкция вибрационной мельницы MB-20: 1 - рабочая камера, 2 - муфта на валу вибровозбудителя, 3 - клапан разгрузки, 4 – упругие элементы, 5 – рама

Примерами мельниц, с расположения вибровозбудителя внутри помольной камеры, могут послужить мельницы типа MB конструкции ООО «СТРОЙТЕХНОЛОГИЯ».

Так же, этой компанией (ООО «СТРОЙТЕХНОЛОГИЯ») на базе конструкций стандартных вибрационных мельниц с внутренним вибратором (рис. 1.4) была разработана новая мельница с эксцентрично расположенным вибратором (рис. 1.5). Такое расположение позволяет кроме круговых колебаний корпуса вибромельницы получить колебания эллиптические и линейные. Совокупность разного типа движений дает возможность более эффективного помола. А отдельная камера без внутреннего вибратора делает замену футеровки мельницы простой и недорогой процедурой, уменьшает стоимость самой футеровки.



Рис. 1.5 Мельница MB-200-ЭКС нового поколения с эксцентрично расположенным вибратором и круговыми, эллиптическими и линейными колебаниями корпуса

В таблице 1.3 приведены основные технические характеристики вибрационных мельниц ТД «СТРОЙТЕХНОЛОГИЯ» старого нового поколения (с эксцентрично расположенным дебалансом).

Табл.1.3 Основные технические характеристики вибрационных мельниц
«Экостройматериалы MB»[6]

Наименование показателей	Первое поколение вибромельниц (тип MB)					Второе поколение вибромельниц (тип MB-ЭКС)		
	MB-5	MB-20	MB-60	MB-200	MB-400	MB-200-ЭКС	MB-400-ЭКС	MB-1000-ЭКС
Объем рабочей емкости литров, не менее	5	20	60	200	400	200	400	1000
Производительность кг/час, не более*	10	25	75	250	500	350	700	До 1500
Влажность материала %, не более	2					2		
Установленная мощность, кВт, не более	1,1	2,2	5,5	18,5	45	18,5	45	110
Масса, кг (без учета мелющих тел), не более	40	70	110	750	1 600	800	1 700	4100

Масса мелющих тел, кг, не более стальных керамических	20 6	80 30	220 90	740 240	1 500 500		740 500	1 500 500	3000 -
Охлаждение вибратора	Воздушное или жидкостное (по желанию заказчика)			Жидкостное, принудительное			Жидкостное, принудительное		
Габаритные размеры		1	1						
длина	900	000	300	1 800	2 500		1900	2 900	4000
ширина	400	500	600	900	1 100		950	1 200	1650
высота	1100	1 100	1 200	1 400	1 600		1450	1 400	1750
Возможность помола по-мокрому, в виде мокрой пульпы	мокрый помол возможен						мокрый помол возможен		
Стоимость мельниц без мелющих тел, руб. (в т.ч. НДС)	Уточняйте у менеджера						Уточняйте у менеджера		
Стоимость мельниц из нержавеющей стали, без мелющих тел руб (в т.ч. НДС)	Уточняйте у менеджера						Уточняйте у менеджера		
Стоимость мелющих тел (шары из высокопрочной стали ШХ-15)	Уточняйте на момент заказа						Уточняйте на момент заказа		
Система рециркуляции смазки (очищает и охлаждает смазочную жидкость для подшипников виброактиватора), руб. (в т.ч.НДС) (не является обязательной к использованию, увеличивает безремонтный срок эксплуатации мельниц)	-	-	-	100 000	150 000		100 000	150 000	215000

Существует ещё один конструктивный способ повышения эффективности помола. Он заключается в увеличении количества помольных камер на одном устройстве. Такие вибромельницы представлены фирмой «AUBEMA» (рис. 1.6).

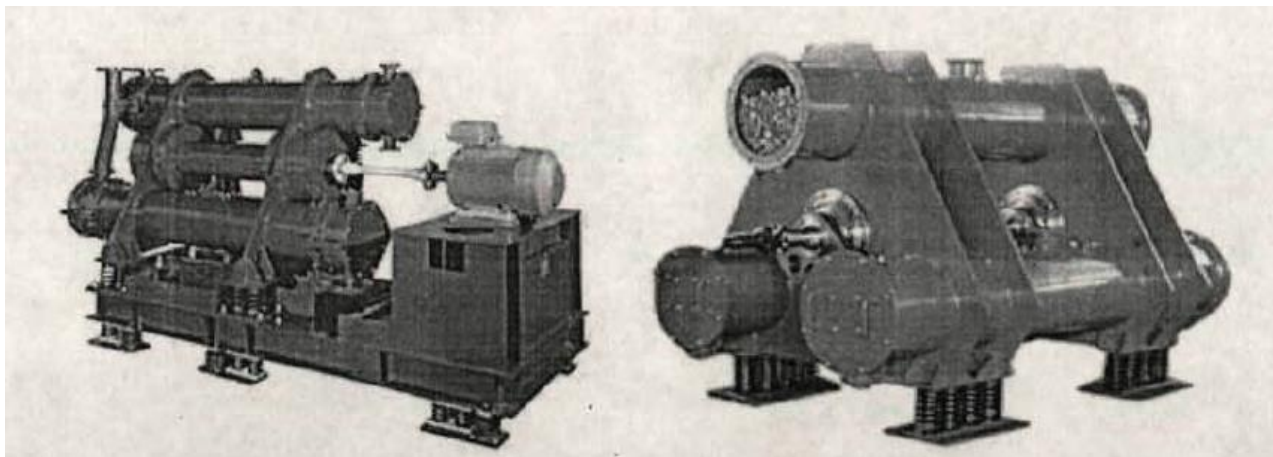


Рис. 1.6 Вибрационная мельница с двумя или тремя помольными камерами

Материал, находящийся в совершающих кругообразные колебательные движения помольных камерах, перемалывается мелющими телами (стержнями или шарами) (рис. 1.7). Помол осуществляется вследствие вращательного и встречного движения мелющих тел. Производительность достигает 15 т/ч, а степень измельчения $i = 30$. Достижимая тонкость помола 10...20 мкм [7].

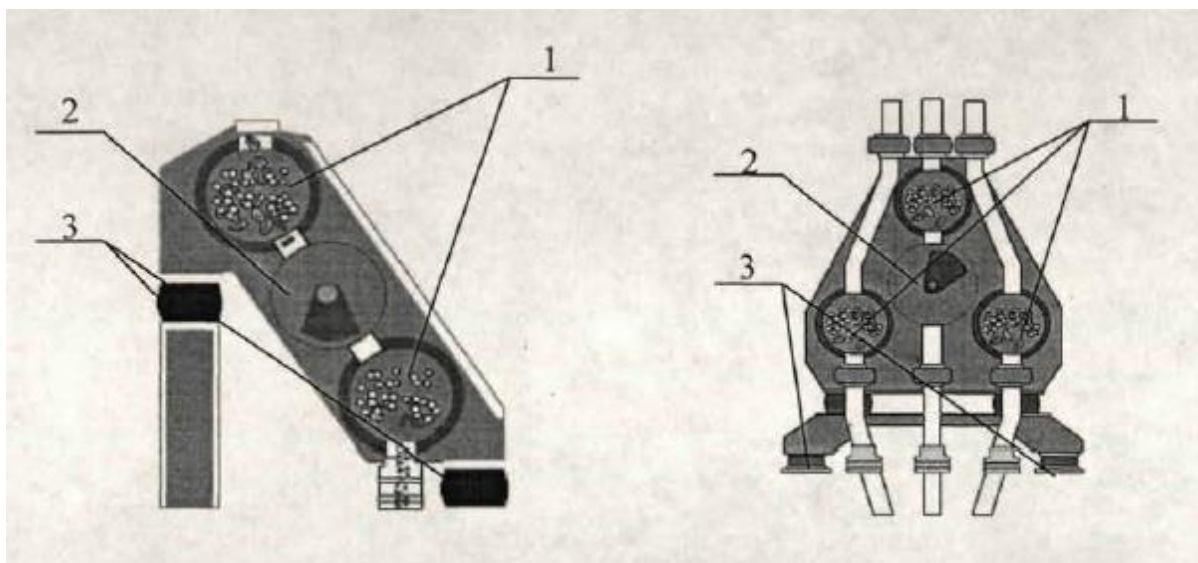


Рис. 1.7 Принципиальная схема работы вибрационных мельниц фирмы AUBEMA:

1 - помольная камера; 2 - вибровозбудитель; 3 - упругие элементы

Несмотря на различные конструкции, все представленные вибромельницы имеют ряд недостатков:

1. Переизмельчение и агрегирование (слипание);
2. Образование застойных зон (как следствие, увеличение времени нахождения материала в помольной камере);
3. Паразитные нагрузки на двигатель и муфту (в результате несовершенной конструкции вибромельниц).

Но главным недостатком вибрационных мельниц является невозможность их использования для больших объёмов загрузок. Связано это с тем, что при загрузке в несколько тонн тяжело контролировать и спрогнозировать поведение помольной камеры и её содержимого. Поэтому вибромельницы не используют при больших объёмах производства.

Существует методика, при которой можно добиться повышения стабильности и эффективности процесса помола, заключающаяся в следующем: большинство электродвигателей приводов вибромельниц работают в резонансном режиме, который нерационально расходует энергию и не обеспечивает удовлетворительной производительности, надёжности, экономичности и эффективности. Резонансный режим работы, или квазирезонансный, наоборот, может обеспечить высокую стабильность и интенсивность измельчения. Так же, сокращается время пребывания продукта в помольной камере что способствует повышению чистоты и производительности мельницы. Но все перечисленные достоинства резонансного режима работы практически недостижимы из-за разрушительного воздействия паразитических нагрузок на помольную камеру, электродвигатель и пружины подвеса.

Для того чтобы исключить негативные воздействия резонансного режима работы, можно использовать конструкцию вертикальной вибрационной мельницы, в которой помольная камера колеблется исключительно в вертикальной плоскости.

С учетом анализа основных направлений развития и совершенствования техники виброизмельчения, предлагается разработать конструкцию вертикальной

вибрационной мельницы, реализовав в ней возможность работы в квазирезонансном режиме.

В качестве прототипа для разработки будем использовать вибромельницу МВ-1000-ЭКС (рис 1.8 и табл. 1.3) выпускаемую предприятием ООО «Экостройматериалы МВ».

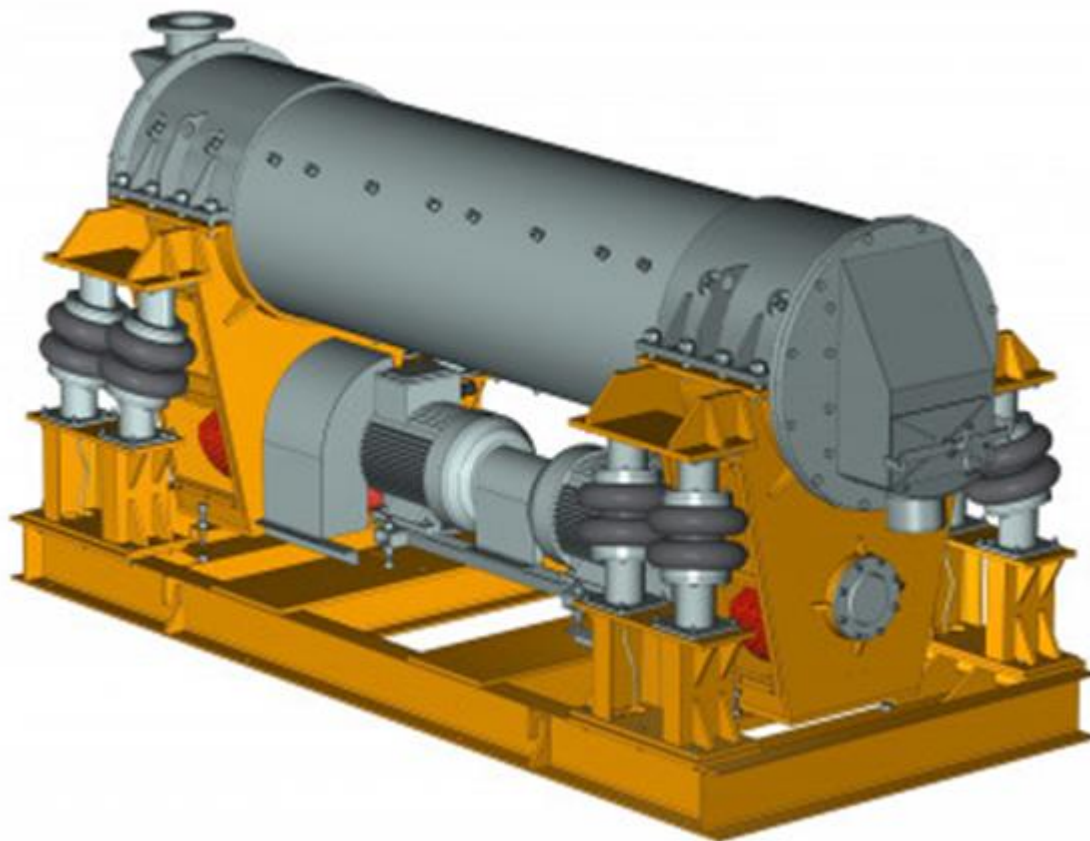


Рис. 1.8 Мельница МВ-1000-ЭКС

2. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ ОСНОВ ШАРОВОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ МЕЛЬНИЦЫ

2.1 Описание конструкции и принципа ее действия

Принцип действия шаровой колебательной мельницы основывается на создании колебаний в одной пространственной оси. Эти колебания создаются тяговым электромагнитом (ТЭМ). Далее колебания через жёсткую механическую связь передаются на помольную камеру (ПК) и ее содержимое. Общее устройство электромагнитной шаровой мельницы колебательного типа (ЭШМКТ) представлено на рис. 2.1.

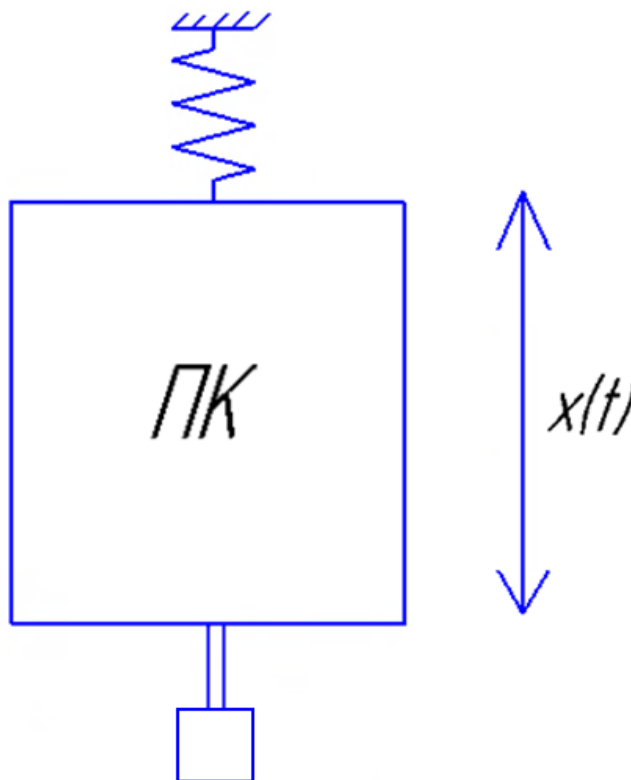


Рис. 2.1 Общее устройство вертикальной колебательной мельницы

Таким образом, разрабатываемая конструкция ЭШМКТ включает в себя двигательную установку с ТЭМ и помольной камерой на пружинном подвесе.

Внутри помольной камеры находятся мелющие тела (МТ) и материал помола (МП). Основным режимом для измельчения должны быть режимы близкие к резонансу, которые наступают в момент совпадения частот возмущающей силы и собственной частоты колебания ПК.

Вибрации, создаваемые ТЭМ, воздействуют на всю конструкцию мельницы, не только на материал помола и мелющие тела. К тому же, ТЭМ создаёт строго вертикальные вибрации, из-за чего пружины вертикального подвеса могут их полностью скомпенсировать. Это приводит к более длительному износу пружин и пониженным нагрузкам на конструкцию.

Устройство ТЭМ показано на рис. 2.2.

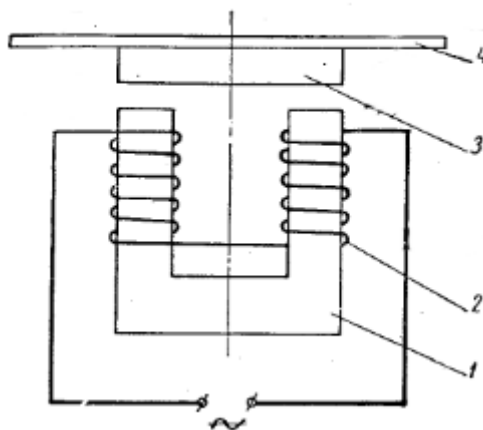


Рис. 2.2 Принципиальная схема ТЭМ

ТЭМ – это элемент, сообщающий вынужденные колебания всей конструкции ЭШМКТ. При подключении переменного электрического тока к клеммам, в обмотках 2 начинает протекать ток и создавать магнитное поле, протекаемое через набранный из шихтованной стали электромагнит 1. Магнитные поля втягивают якорь 3, прикреплённый к нижней стенке ПМ 4. Затем, при изменении направления протекающего по обмоткам тока, электромагнит отпускает якорь, и пружины подвеса отталкивают ПК от электромагнита. Далее цикл повторяется, создавая колебания.

2.2 Выбор и описание основных характеристик разрабатываемого устройства

Рассмотрим предполагаемые основные параметры ЭШМКТ по габаритам. Основные показатели, необходимые для расчета мельницы — это объем и масса ПК, масса и объем МП, масса и количество шаров, их диаметр и материал, из которого они выполнены.

Так как мы выбрали в роли прототипа ВМ-1000-ЭКС, то будем подбирать параметры проектируемой конструкции исходя из её параметров.

Объём рабочей ёмкости прототипа: не менее 1000 литров. Таким образом в качестве ПК мы используем полый цилиндр из цельной трубы объёмом ≈ 1000 литров. Согласно ГОСТ 10704-91 «Трубы стальные электросварные прямошовные. Сортамент (с Изменением N 1)» примем внешний диаметр $D = 1.02$ м, толщина стенки трубы 9 мм, высотой $h_1 = 1,3$ м, основание ПК можем выбрать, ориентируясь на толщину $h_2 = 30$ мм. При выборе таких размеров, получим значение объёма помольной камеры, приближенное к 1000 литрам.

Загрузку ПК можно осуществлять на 70% от общего объема камеры. Отношение руды и общего количества шаров будет 50:50 от объема загрузки ПК. Принимаем диаметр шара $d = 60$ мм. Конструкция ПК и шары выполнены из стали. В соответствие с этим основные конструктивные параметры ПК представлены на рис. 2.3.

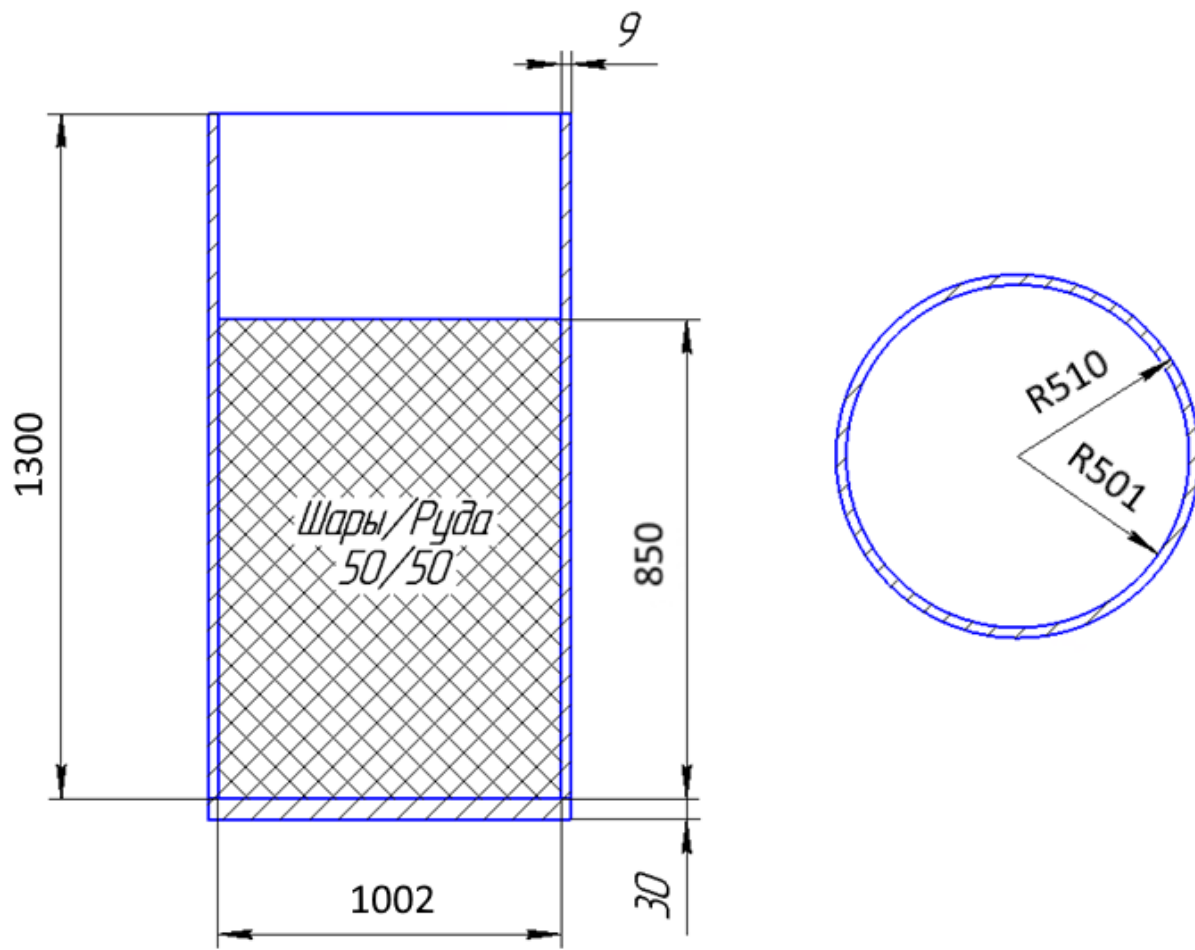


Рис. 2.3 Конструктивные размеры помольной камеры

Исходя из представленных геометрических размеров ПК, её масса будет равна:

$$m_1 = \rho_1 \cdot (V_s + V_o) = 7800 \cdot (37 \cdot 10^{-3} + 23,644 \cdot 10^{-3}) = 473,023 \text{ кг}, \quad (1)$$

где $\rho_1 = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - плотность стали, а V_s и V_o объемы стенок камеры и основания ПК соответственно, равные:

$$V_s = h_1 \cdot \pi \cdot [(R_1 + h_2)^2 - R_1^2] = 1,3 \cdot 3,14 \cdot [(0,501 + 0,009)^2 - 0,501^2] = 37 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (2)$$

где $R_1 = 0,245 \text{ м}$ – внутренний радиус помольной камеры.

$$V_o = \pi \cdot R_1^2 \cdot h_2 = 3,14 \cdot 0,501^2 \cdot 0,03 = 23,644 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (3)$$

Объем заполнения помольной камеры при её заполнении на 70% будет равен:

$$V_1 = 0,7 \cdot (h_1 - h_2) \cdot \pi \cdot R_1^2 = 0,7 \cdot (1,3 - 0,03) \cdot 3,14 \cdot 0,501^2 = 0,7 \text{ м}^3, \quad (4)$$

ПК заполняется шарами и рудой в отношении 50:50. Тогда, объём ПК, отводимый под шары (руды) будет равен:

$$V_2 = \frac{V_1}{2} = \frac{0,7}{2} = 0,35 \text{ м}^3, \quad (5)$$

Объём, занимаемый одним шаром равен:

$$V_3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{0,06}{2}\right)^3 = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3, \quad (6)$$

Шары, в силу своей геометрии, могут заполнить примерно 70 % общего объема, отводимого под шары. Тогда количество шаров будет равно:

$$S = \frac{V_2 \cdot 0,7}{V_3} = \frac{0,35 \cdot 0,7}{0,11 \cdot 10^{-3}} = 2,23 \cdot 10^3, \quad (7)$$

Масса всего количества шаров равна:

$$m_r = \rho_1 \cdot V_3 \cdot S = 7800 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} \cdot 2,23 \cdot 10^3 = 1913,34 \text{ кг}, \quad (8)$$

Исходя из равных объемов, занимаемых шарами и породой, масса горных пород будет равна:

$$m_p = \rho_2 \cdot S \cdot V_3 = 4000 \cdot 2230 \cdot 0,11 \cdot 10^{-3} = 981,2 \text{ кг}, \quad (9)$$

где $\rho_2 = 4000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ - приблизительная плотность породы;

Общая масса содержимого ПК:

$$m_2 = m_r + m_p = 1913,34 + 981,2 = 2894,54 \text{ кг}, \quad (10)$$

Сила тяжести ПК без содержимого:

$$P_1 = m_1 \cdot g = 473,023 \cdot 9,81 = 4636 \text{ Н}, \quad (11)$$

Сила тяжести содержимого камеры без ПК:

$$P_2 = m_2 \cdot g = 2894,54 \cdot 9,81 = 28890 \text{ Н}, \quad (12)$$

Коэффициент механических потерь для одной пружины подвеса ПК принимаем равным:

$$R_p = 10 \frac{\kappa \mathcal{E}}{c}, \quad (13)$$

Коэффициент механических потерь всех пружин конструкции:

$$R_1 = R_p \cdot S_1 = 10 \cdot 8 = 80 \frac{\kappa \mathcal{E}}{c}, \quad (14)$$

где S_1 – количество пружин подвеса конструкции. На данном этапе принимаем $S_1=8$.

Коэффициент механических потерь между одним шаром и стенкой ПК принимаем равным:

$$R_r = 40 \frac{\kappa \mathcal{E}}{c}, \quad (15)$$

Учитываем также, что основной вклад в механические потери, возникающие между ПК и её содержимым, вносит трение между шарами и стенкой ПК. Количество шаров, участвующих в процессе трения и расположенных по периметру камеры в одном слое, будет равно:

$$n_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot (R_1 - \frac{d}{2})}{d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (0,501 - \frac{0,06}{2})}{0,06} \approx 49, \quad (16)$$

Количество шаров в одном слое при учете геометрических особенностей шара:

$$n_{21} = \frac{\pi \cdot R_1^2 \cdot 0,7}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{\pi \cdot 0,501^2 \cdot 0,7}{\pi \cdot \left(\frac{0,06}{2}\right)^2} \approx 195, \quad (17)$$

Количество слоёв из шаров, содержащихся в ПК:

$$n_2 = \frac{S}{n_{21}} = \frac{2230}{195} \approx 11, \quad (18)$$

Тогда, количество шаров, участвующих в трении со стенками равно:

$$S_2 = n_1 \cdot n_2 = 49 \cdot 11 = 539, \quad (19)$$

Тогда коэффициент механических потерь для материала помола будет составлять:

$$R_2 = R_r \cdot S_2 = 30 \cdot 539 = 2,156 \cdot 10^4 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, \quad (20)$$

Все описанные выше величины будут уточняться в ходе дальнейших расчетов.

Приведённые расчёты позволяют разработать общее конструктивное решение ЭШМКТ с соответствующими параметрами. На рис. 2.4 представлена общая конструкция вертикальной вибрационной мельницы.

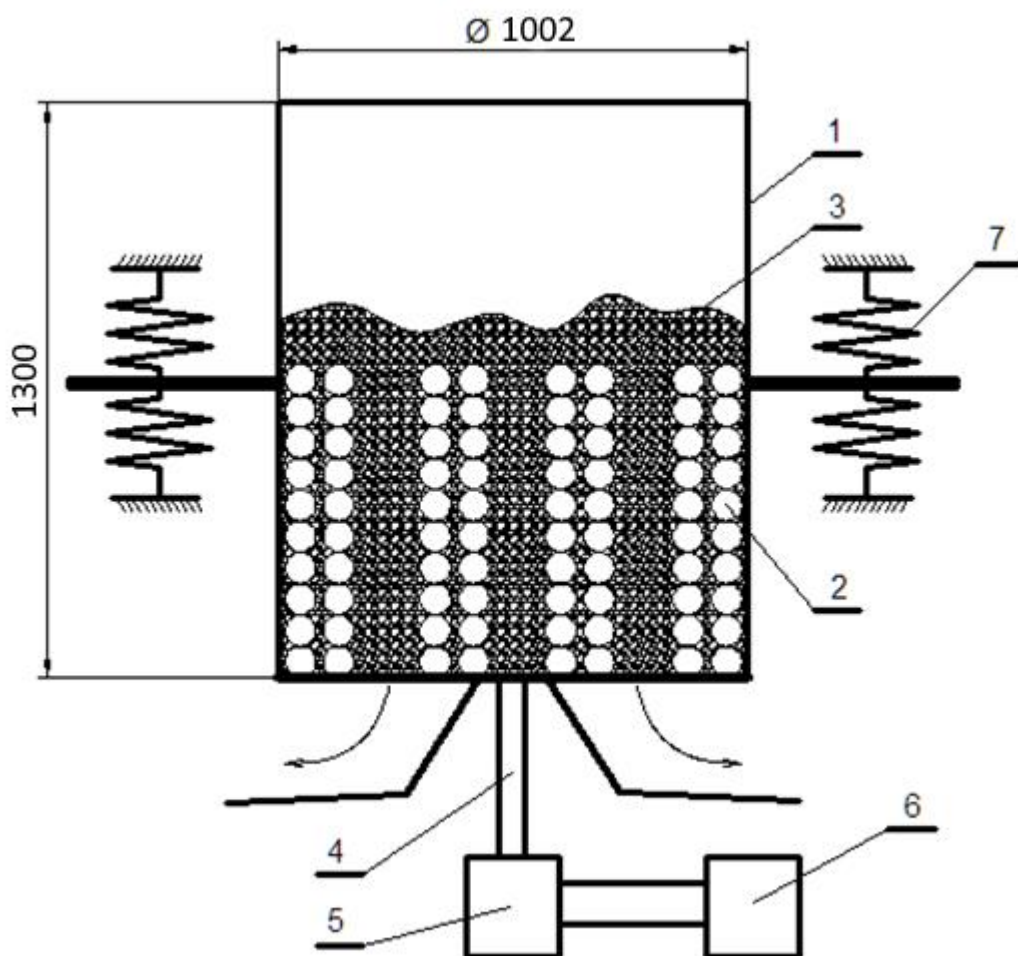


Рис. 2.4 Общая конструкция ЭШМКТ

На рис. 2.4: 1 – корпус помольной камеры; 2 – мелющие тела (шары); 3 – рудный материал; 4 – шток; 5 – ТЭМ; 6 – блок питания; 7 – пружинный подвес

Как следует из Рис. 2.4 корпус помольной камеры 1 ЭШМКТ с заполненными шарами 2 и кусками 3 конгломерата рудного материала совершает колебания в вертикальной плоскости под действием возмущающей силы, передаваемой на корпус через шток 4 от ТЭМ 5. От блока питания 6 на ТЭМ 5 подаётся переменное напряжение, которое регулируется по величине и частоте. Для пружинного подвеса помольной камеры ЭШМКТ могут быть использованы цилиндрические пружины сжатия 7.

Таким образом, общий вид конструкции ЭШМКТ

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Объективное моделирование работы сложной механической системы с очень большим количеством не связанных друг с другом отдельных элементов, что и представляет собой конструкция ЭШМКТ, является практически неразрешимой задачей. Однако на основе некоторых корректных допущений, относящихся к механике движения элементов ШМ, при математическом моделировании можно получить отдельные и важные практические рекомендации по разработке ЭШМКТ и режимам её работы.

В общем объёме помольной камеры ЭШМКТ можно выделить вертикальный столбец мелющих тел и рудного материала, ограниченный цилиндрическим пространством и представленный на Рис. 3.1.

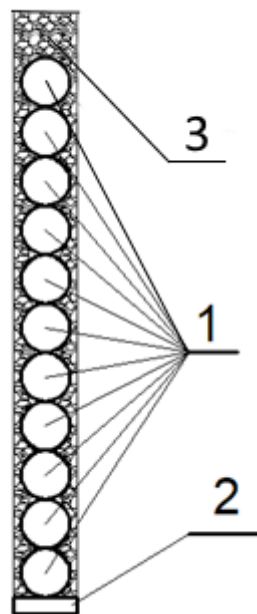


Рис. 3.1 Цилиндрический элемент ЭШМКТ

1. мелющие тела (шары) в количестве 11 (по количеству слоёв) шт.;
2. часть конструкции помольной камеры, соответствующая проекции шара на днище;
3. рудный материал, прилегающий к мелющим телам.

Чтобы описать процессы протекаемые в ЭШМКТ, общая конструкция которой приведена на рис. 2.4, воспользуемся расчетной схемой, которая приведена на рис. 3.1.

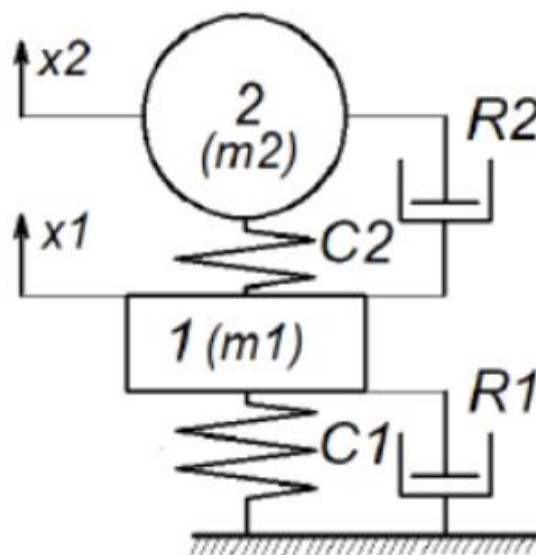


Рис. 3.2 Расчётная схема вертикальной вибрационной мельнице

m_1 – масса помольной камеры без содержимого;

m_2 – масса содержимого помольной камеры;

C_1 – суммарная жесткость пружин в основании помольной камеры;

C_2 – жесткость упругих сил при соударениях помольной камеры и материалов помола;

R_1 – потери в пружинах помольной камеры;

R_2 – потери при движении содержимого помольной камеры;

x_1 – перемещение помольной камеры;

x_2 – перемещение содержимого помольной камеры;

Данная расчётная схема ЭШМКТ описывается системой из двух уравнений. Уравнение движения помольной камеры представлено выражением:

$$m_{12}(t) \frac{d^2 x_1}{dt^2} + R_1 \frac{dx_1}{dt} - R_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + C_1 x_1 - C_2 (x_2 - x_1) + P_1 + P_{21} = F(t) + F_{21}(t), \quad (21)$$

$m_{12}(t)$ – суммарная масса тел 1 и 2 при условии $x_1 > x_2$; при $x_2 > x_1$ равна m_1 ;

P_1 – сила тяжести тела 1;

P_{21} – сила тяжести тела 2, действующая на тело 1 при $x_1 > x_2$, при $x_2 > x_1$ равна 0;

$F_{21}(t)$ – сила инерции тела 2, действующая на тело 1 при условии $x_1 > x_2$ и при движении тела 2 вниз.

Движение содержимого помольной камеры описывается уравнением:

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + R_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) + C_2 (x_2 - x_1) + P_2 = F_{12}(t) + F_2(t), \quad (22)$$

P_2 – сила тяжести тела 2;

$F_{12}(t)$ – сила инерции тела 1, действующая на тело 2 при условии $x_1 > x_2$ и при движении тела 1 вверх;

$F_2(t)$ – возмущающая сила, действующая на тело 2 при условии $x_1 > x_2$.

Система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая процессы системы (рис. 2.4), имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{d^2 x_1}{dt^2} = \frac{F(t) + F_{21}(t) - R_1 \frac{dx_1}{dt} + R_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) - C_1 x_1 + C_2 (x_2 - x_1) - P_1 - P_{21}}{m_{12}} \\ \frac{d^2 x_2}{dt^2} = \frac{F_{12}(t) + F_2(t) - R_2 \left(\frac{dx_2}{dt} - \frac{dx_1}{dt} \right) - C_2 (x_2 - x_1) - P_2}{m_2} \end{cases}, \quad (23)$$

Данная система уравнения решается численным методом Рунге-Кутты с помощью программы Mathcad. Листинг программы для решения системы (23) приведен в приложении А.

4. СИСТЕМА СОЗДАНИЯ ВОЗМУЩАЮЩЕЙ СИЛЫ

Как отмечалось ранее, система создания возмущающей силы должна быть представлена в виде тягового электромагнита.

Сила возмущения, создаваемая ТЭМ, должна быть равной:

$$F_B = F_m = 35,5 \text{ кН}, \quad (24)$$

где F_m – амплитуда возмущающей силы.

Электромагнит устройства ЭШМКТ представляет собой конструкцию, состоящую из якоря, сердечника магнитопровода и обмоток. В качестве якоря в устройстве ЭШМКТ выступает основание ПК, которое относится к элементам колебательной системы. Сердечник электромагнита выполнен из пакета П-образной листовой стали толщиной не более 1 мм. Учитывая форму и размеры сердечника, а также принимая во внимание экономию обмоточного провода используем две обмотки на каждом стержне сердечника.

Основные размеры конструкции ТЭМ можно определить исходя из уже известных размеров якоря (основание ПК).

Размеры сердечника и наружный диаметр электромагнита являются взаимосвязанными. Длина ярма сердечника электромагнита $B1$ для устройств ЭШМКТ соответствует $(0,95 \div 1,0)$ от величины наружного диаметра электромагнита $D_{ан}$. Все остальные размеры сердечника магнитопровода модуля ЭШМКТ можно выбрать, исходя из установленных практикой пропорций выполнения многочисленных устройств электромагнитного типа. Ширина полюсного наконечника сердечника $b1$ составляет $(0,15 \div 0,2)$ от длины ярма $B1$. Высота ярма сердечника $h1$ принимается равной $(1,3 \div 1,5)$ от $B1$. Длина полюсного наконечника сердечника $k1$ выбирается равной $(0,3 \div 0,4)$ от $H1$. Высоту стержня сердечника $H1$ можно принять равной $(1,0 \div 1,1)$ от $B1$. Все основные пропорции для расчета основных размеров якоря и электромагнита сведены в таблицу в табл. 5.1.

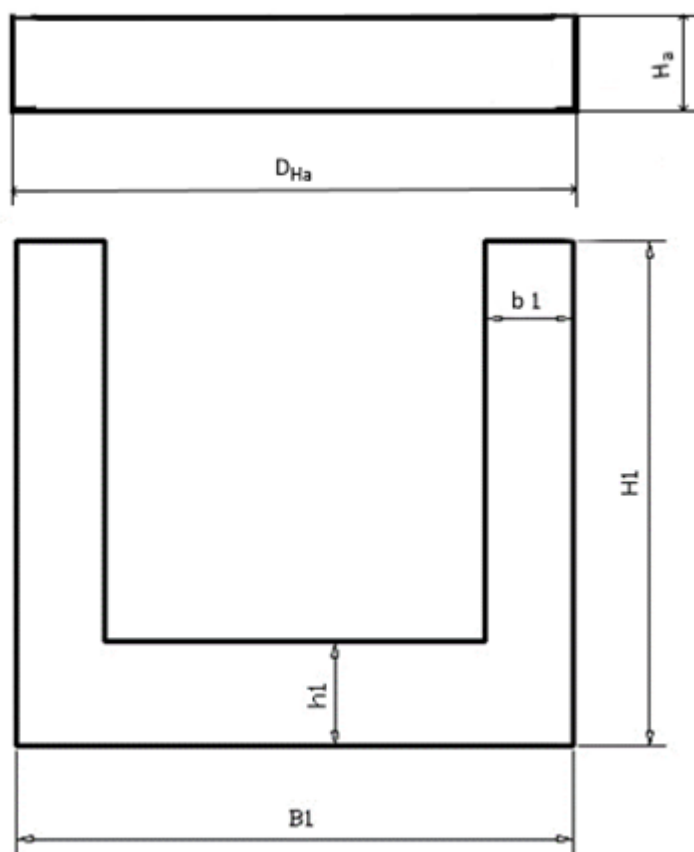


Рис. 4. 1 Определение размеров конструкции электромагнита

Табл. 4.1 Основные соотношения для расчета размеров активатора и электромагнита

Размер якоря, индуктора	Рекомендованные соотношения
Наружный диаметр электромагнита, $D_{ан}$	Определяется эвристическим путём
Высота электромагнита, H_a	$H_a = (0,19 \div 0,21) D_{ан}$
Длина ярма индуктора, $B1$	$B1 = (0,85 \div 1,0) D_{ан}$
Ширина полюсного наконечника индуктора, $b1$	$b1 = (0,15 \div 0,2) B1$
Длина полюсного наконечника индуктора, $A1$	$A1 = (0,3 \div 0,4) B1$
Высота стержня индуктора, $H1$	$H1 = (1,0 \div 1,1) B1$

Высота ярма индуктора, $h1$	$h1 = (1,3 \div 1,5) b1$
-----------------------------	--------------------------

Основываясь на указанных рекомендациях, произведем расчет размеров ТЭМ.

Принимаем диаметр якоря эвристически:

$$D_{ан} = 0,4 \text{ м}$$

Высота якоря:

$$H_a = 0,08 \text{ м}$$

Расчётная длина ярма сердечника магнитопровода:

$$B1 = 0,9 \cdot D_{ан} = 0,9 \cdot 0,4 = 0,36 \text{ м}, \quad (25)$$

Выбираем $B1 = 0,396 \text{ м}$.

Ширина полюсного наконечника сердечника:

$$b1 = 0,17 \cdot B1 = 0,17 \cdot 0,396 = 0,067 \text{ м}, \quad (26)$$

Выбираем $b1 = 0,06 \text{ м}$.

Длина полюсного наконечника сердечника:

$$A1 = 0,35 \cdot B1 = 0,35 \cdot 0,396 = 0,14 \text{ м}, \quad (27)$$

Выбираем $A1 = 0,1 \text{ м}$.

Высота стержня сердечника:

$$H1 = 1,1 \cdot B1 = 1,1 \cdot 0,396 = 0,436 \text{ м}, \quad (28)$$

Выбираем $H1 = 0,45 \text{ м}$.

Высота ярма сердечника:

$$h1 = 1,4 \cdot b1 = 1,4 \cdot 0,06 = 0,084 \text{ м} \quad (29)$$

Выбираем $h1 = 0,08 \text{ м}$.

Занесём полученные результаты в таблицу 4.2.

Табл. 4.2 Основные размеры якоря и электромагнита

$D_{ан}, \text{ м}$	$H_a, \text{ м}$	$B1, \text{ м}$	$b1, \text{ м}$	$A1, \text{ м}$	$H1, \text{ м}$	$h1, \text{ м}$
0,4	0,2	0,396	0,06	0,1	0,5	0,08

Полученные расчетные и скорректированные размеры якоря и электромагнита нанесём на изображение на рис. 4.2 и приведены в ПРИЛОЖЕНИЕ В.

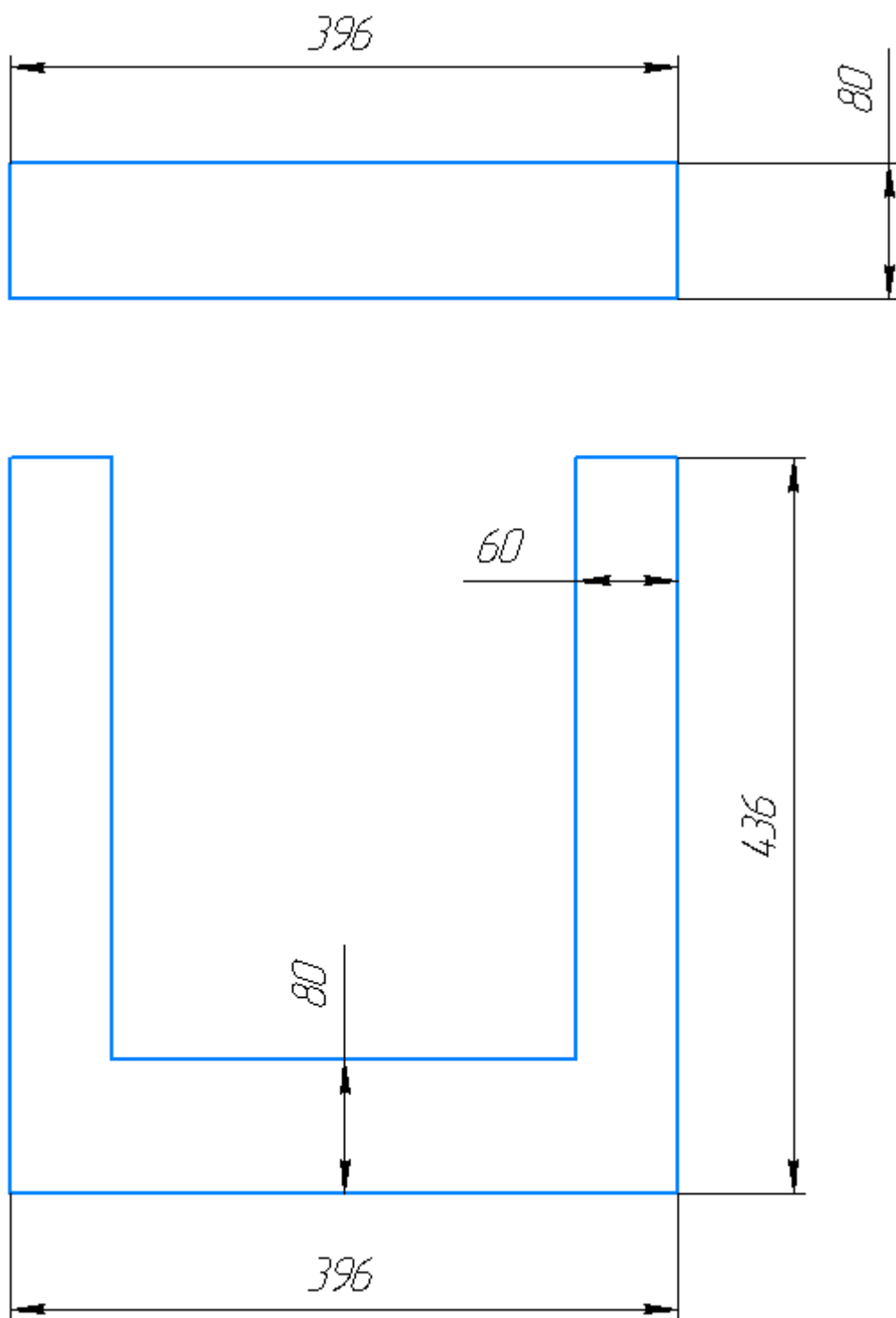


Рис. 4.2 Эскиз магнитной системы ТЭМ

Расчёт обмоточных данных электромагнита модуля ЭШМКТ сводится к выбору диаметра обмоточного провода, определению числа витков в каждой из катушек, длины обмоточного провода и вычислению их активных и индуктивных сопротивлений. Принимая во внимание рекомендации по выбору диаметра соответствующих размеров сердечника электромагнита, по технологическим соображениям процесса намотки следует выбирать обмоточный провод круглого сечения диаметром от 0,2 до 2 мм. Учитывая П-образную форму листа сердечника, витки обмоток могут быть уложены только во внутреннее пространство, расположенное между стержнями сердечника магнитопровода. Тогда общее количество витков обмоток электромагнита будет зависеть от площади межстержневого пространства сердечника и площади сечения обмоточного провода с учётом толщины изоляции. Кроме этого при расчёте количества витков обмоток следует иметь в виду, что не всё пространство между стержнями сердечника можно заполнить обмоточным проводом. Во-первых, часть этого пространства необходимо предоставить изоляционным деталям каркаса обмоток. Каркас обмоток электромагнита рекомендуется выполнять из листов текстолита толщиной $\Delta l = (1 \div 2)$ мм. Далее необходимо выдерживать минимальные воздушные зазоры между соседними обмотками, между обмоткой и металлическими деталями корпуса модуля ЭШМКТ. Минимальное расстояние между обмотками P должно быть не менее 2 мм. Минимальное расстояние между обмотками и металлическими частями корпуса модуля ЭШМКТ D должно быть не менее 4 мм. И последнее, при выборе числа витков обмотки необходимо учитывать коэффициент заполнения окна сердечника магнитопровода витками обмоточного провода при намотке катушки. На основании выше изложенного произведем расчет параметров обмоток магнитопровода.

Площадь окна сердечника магнитопровода для размещения обмоток:

$$S_{\text{окн}} = (B1 - 2b1 - 2\Delta l - P) \cdot (H1 - h1 - 2\Delta l - D)$$

Принимаем: $\Delta l = 0,002 \text{ м}$; $P = 0,002 \text{ м}$; $D = 0,004 \text{ м}$.

$$\text{Тогда } S_{\text{окн}} = (0,396 - 2 \cdot 0,06 - 2 \cdot 0,002 - 0,002) \cdot (0,45 - 0,08 - 2 \cdot 0,002 - 0,004) = 0,11 \text{ м}^2, \quad (30)$$

Расчетное количество витков в обмотке магнитопровода:

$$W_p = \frac{2S_{\text{окн}} k_{\text{зан}}}{\pi d_{\text{пр.и}}^2}, \quad (31)$$

Принимаем коэффициент заполнения окна сердечника магнитопровода обмоточным проводом $k_{\text{зан}} = 0,7$. Выбираем обмоточный провод марки ПЭТВ диаметром жилы $d_{\text{пр}} = 15 \text{ мм}$ и диаметром провода в изоляции $d_{\text{пр.и}} = 15,65 \text{ мм}$.

$$W_p = \frac{2 \cdot 0,11 \cdot 0,7}{\pi \cdot 0,01565^2} = 200,25,$$

Принимаем $W = 200$.

Допустимая толщина слоев обмотки, м:

$$\Delta t = \frac{B_l - 2b_l - 2\Delta l - P}{2} = \frac{0,396 - 2 \cdot 0,06 - 2 \cdot 0,002 - 0,002}{2} = 0,135, \quad (32)$$

Расчетное количество слоев обмотки:

$$N_{\text{сл}} = \frac{\Delta t}{d_{\text{пр.и}}} = \frac{0,135}{0,01565} = 8,626, \quad (33)$$

Принимаем $N_{\text{сл}} = 9$

Расчетное значение длины среднего витка обмотки, м:

$$l_{\text{ср}} = 2(b_l + A_l + 2\Delta l) + 2\pi \cdot r_{\text{скр.об}} = 2(0,06 + 0,1 + 2 \cdot 0,002) + 2\pi \cdot 0,068 = 0,755, \quad (34)$$

где: $r_{\text{скр.об}}$ - средний радиус закругления углов обмотки

Средний радиус закругления углов обмотки, м

$$r_{\text{скр.об}} = \frac{(N_{\text{сл}} + 1)d_{\text{пр.и}}}{2} = \frac{(9 + 1) \cdot 0,01565}{2} = 0,078, \quad (35)$$

где: $d_{\text{пр.и}}$ - диаметр обмоточного провода в изоляции, м.

Умножая длину среднего витка обмотки на количество витков, получим расчётную длину обмоточного провода, идущего на изготовление одной обмотки.

Расчетное значение длины провода обмотки, м:

$$l_{об} = W \cdot l_{cp} = 200 \cdot 0,755 = 151 \text{ ,} \quad (36)$$

где: l_{cp} – длина среднего витка обмотки, м;

W – количество витков в обмотке.

По полученным расчётным значениям основных размеров магнитопровода и обмоток выполняется эскиз электромагнитной части модуля ЭШМКТ, который приведен на рис. 4.1 и чертёж листа магнитопровода в приложении В. В ходе конструирования электромагнита модуля ЭШМКТ необходимо предусматривать элементы крепления электромагнита в общей конструкции модуля ЭШМКТ.

Таким образом, зная все необходимые размеры мы можем изобразить полный вид конструкции ЭШМКТ (рис. 4.3). Данная конструкция работает следующим образом: в помольную камеру 1 (ПК) загружается через верхнюю часть материал помола (МП). По кабелю электропитания 7, на катушки магнитопровода 3 подаётся напряжение, создающее в магнитопроводе 2 магнитное поле притягивающее якорь, прикреплённый ко дну ПК. ПК притягивается к магнитопроводу, сжимая пружины подвеса 4, находящиеся на стойках 6. Во время следующего полупериода подаваемого напряжения, пружины подвеса выталкивают конструкцию вверх. Далее циклы повторяются, создавая колебания и измельчения МП мелющими телами. Вся конструкция находится на бетонном основании 5. Чертёж конструкции приведён в ПРИЛОЖЕНИЕ Г.

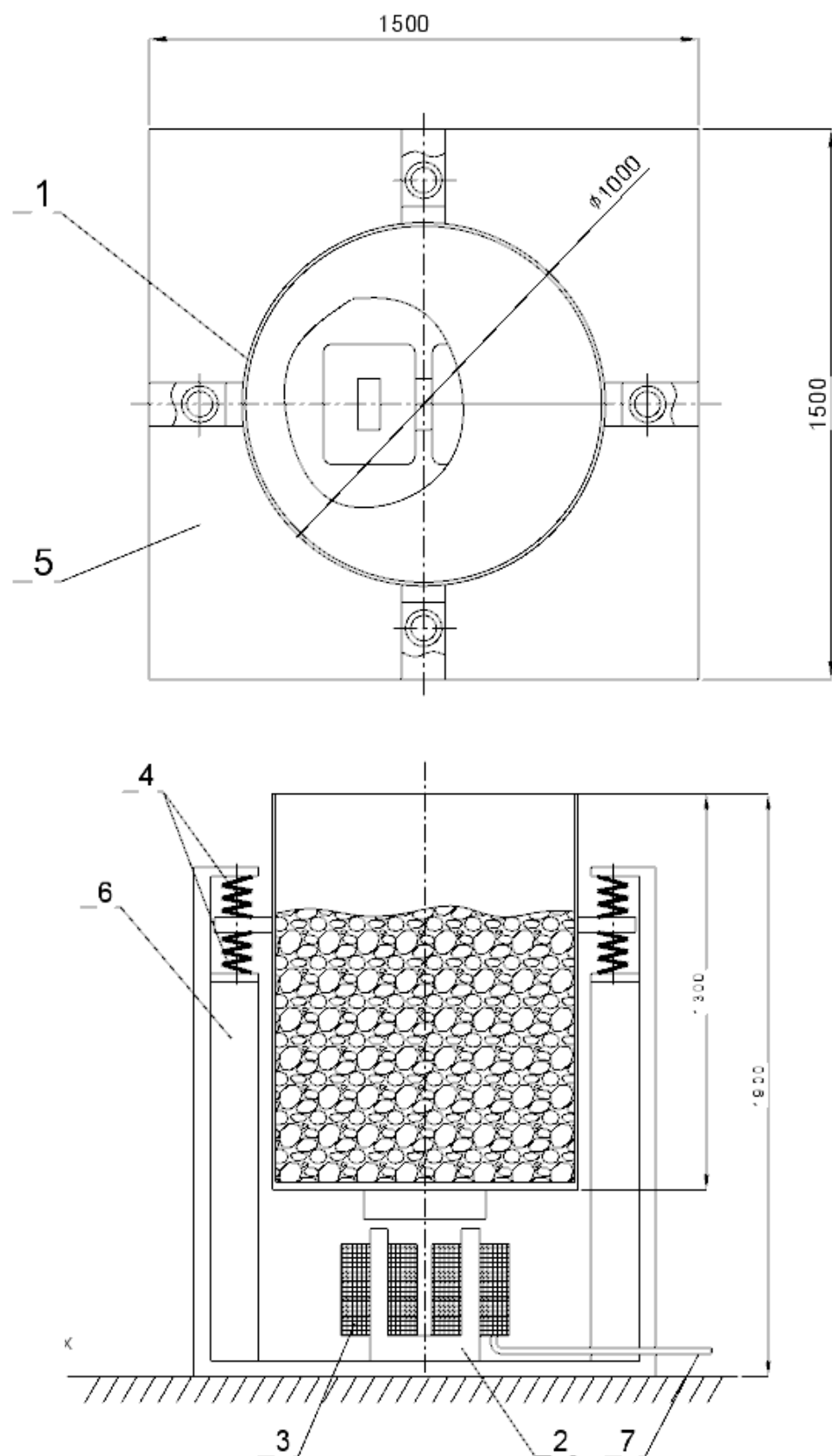


Рис. 4.3 Полная конструкция ЭШМКТ в сборе

5. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

5.1 Построение характеристик ЭШМКТ при постоянных параметрах m_1 , m_2 и C_1

Значения ряда коэффициентов системы (22) нами были определены в предшествующих разделах и приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 Параметры ЭШМКТ

m_1 , кг	m_2 , кг	R_1 , кг/с	R_2 , кг/с	C_2 , Н/м
473,023	2894	80	16170	109

Примем жесткость материала помольной камеры $C_2=109$ Н/м. Помольная камера, механически, не соединена с мелющими телами и материалом помола. Жёсткость подразумевает только силы упругости при столкновениях.

Чтобы решить систему, необходимо определить часть ранее не обозначенных параметров. Принимаем закон изменения возмущающей силы $F(t)$ по выражению:

$$F(t) = F_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi), \quad (37)$$

где F_m – амплитуда возмущающей силы;

Для начала, примем величину F_m равной общей силе тяжести колебательной системы. Из формул (11) и (12) принимаем амплитуду возбуждающей силы равной:

$$F_m = P_1 + P_2 = 4636 + 28890 = 33,5 \text{ кН}, \quad (38)$$

Примем, предварительно, диапазон частот работы вертикальной вибрационной мельницы как 10-20 Гц. Он обусловлен тем, что при больших частотах установка будет более шумной.

Примем частоту колебаний помольной камеры равной:

$$f_g = 20 \text{ Гц}, \quad (39)$$

Тогда круговая частота возмущающей силы равна:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 20 = 125,7 \text{ с}^{-1}, \quad (40)$$

Выбор такой частоты обусловлен тем, чтобы в последствии можно было подобрать подходящий электромагнит.

Обеспечения резонансной работы вертикальной колебательной мельницы на заданной частоте при заданных параметрах масс колебательной системы можно добиться подбором соответствующей жёсткости. Ранее, мы уже определили, что резонансная частота, при нашей жёсткости пружин, равна 20 Гц.

Для параметров данной системы оптимальная суммарная жесткость пружин равна $C1 = 3,4 \cdot 10^9 \text{ Н/м}$. При данной жесткости система находится в резонансе, больших провисаний пружин не наблюдается, обеспечивается нормальная работа системы.

Результаты решений системы уравнений для данных, приведённых в таблице 1, можно видеть на представленных ниже рис. 5.1, 5.2, 5.3.

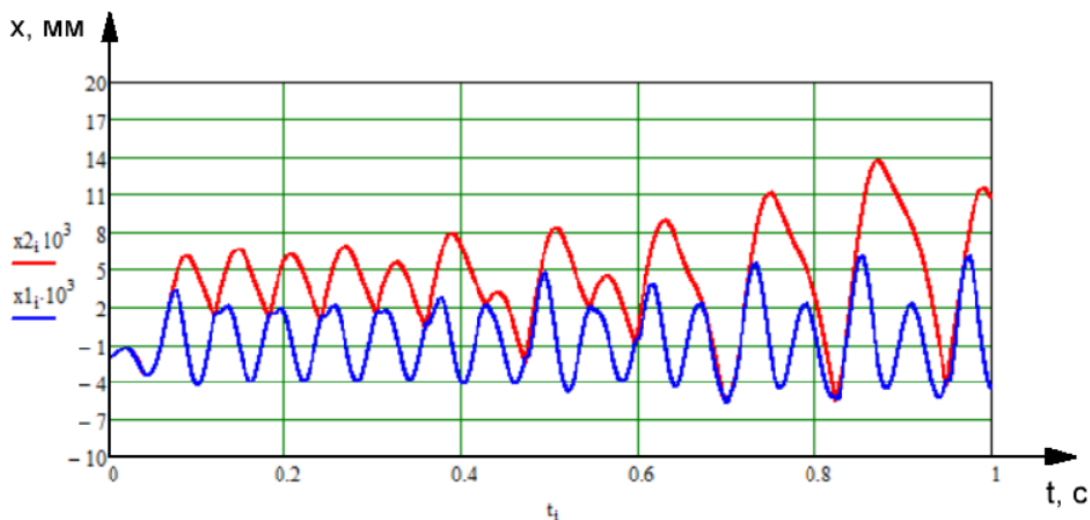


Рис. 5.1 Зависимость перемещения помольной камеры (x_1) и материала помола (x_2) во времени

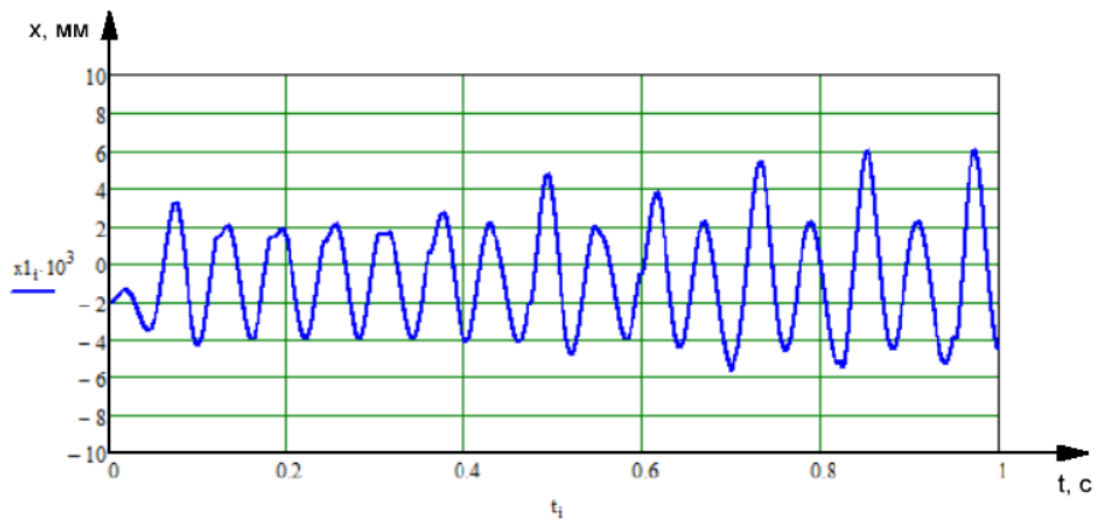


Рис. 5.2 Зависимость перемещения помольной камеры (x_1) во времени

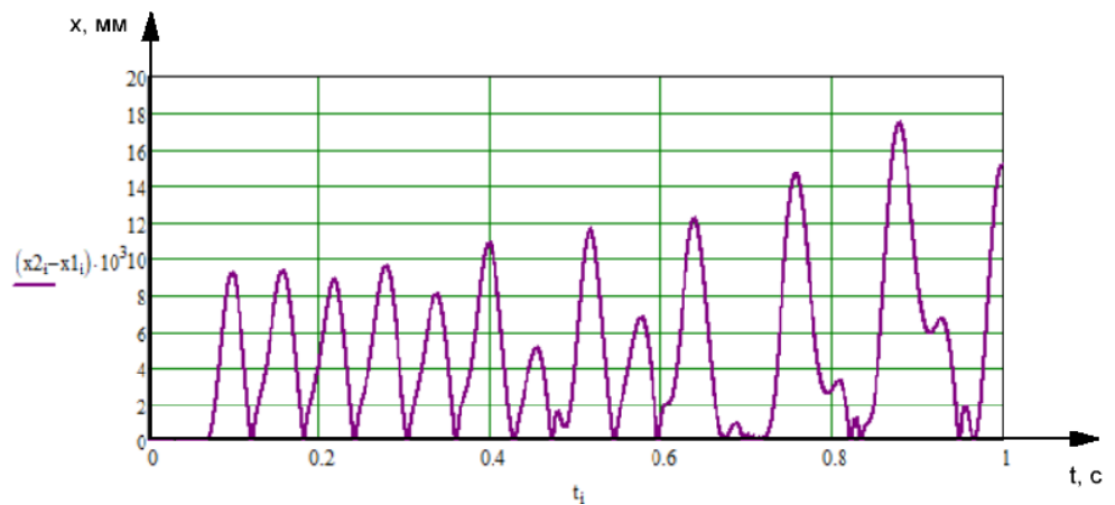


Рис. 5.3 Зависимость разницы амплитуд материала помола и помольной камеры ($x_2 - x_1$) во времени

Как видно из представленных рисунков, амплитуды колебаний помольной камеры доходят до 6 мм, амплитуды колебаний содержимого помольной камеры достигают 13 мм. Возникающие зазоры между помольной камеры и её содержимого достигают 18 мм.

Также, начиная с $t = 0,6$ с, заметно, как содержимое помольной камеры отрывается на такую величину, когда сама камеры успевает сделать полное колебание.

Мгновенное значение механической мощности системы рассчитывается по формуле:

$$P(t) = F(t) \cdot v(t), \quad (41)$$

где $F(t)$ – мгновенное значение возмущающей силы, $v(t)$ – мгновенное значение скорости помольной камеры.

Среднее значение механической мощности системы рассчитывается по формуле:

$$P_{\Sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (P(t)^2 \cdot h)}{(N-1) \cdot h}}, \quad (42)$$

При выбранных значениях параметров системы механическая мощность равна:

$$P_{\Sigma} = 1773 \text{ Вт}, \quad (43)$$

Для постижения поставленных целей необходимо создать зазор между помольной камерой и материала помола 3-5 мм.

Результаты, приведённые на рис. 4.1, 4.2, 4.3, свидетельствуют о том, что амплитуда возмущающей силы сильно завышена.

Экспериментальным образом определено, что при всех неизменных параметрах, и при условии достижения необходимого зазора, можно принять силу, равную:

$$F_m = 2580 \text{ Н}, \quad (44)$$

На рис. 5.4, 5.5, 5.6 представлены результаты моделирования при скорректированных параметрах колебательной системы.

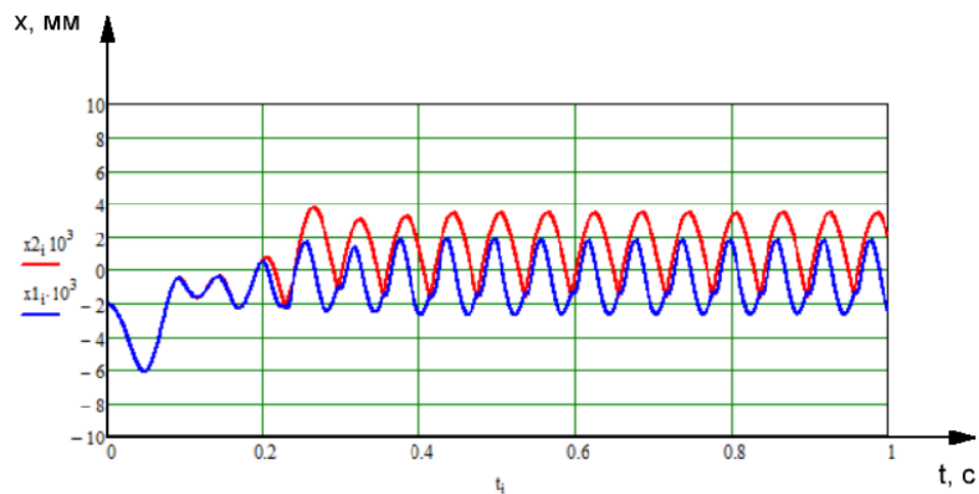


Рис. 5.4 Зависимость перемещения помольной камеры (x_1) и материала помола (x_2) во времени

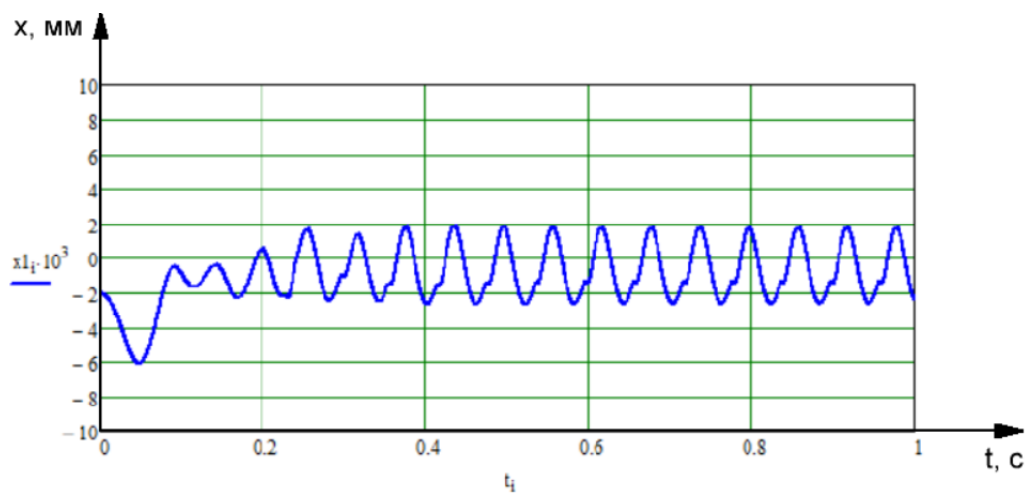


Рис. 5.5 Зависимость перемещения помольной камеры (x_1) во времени

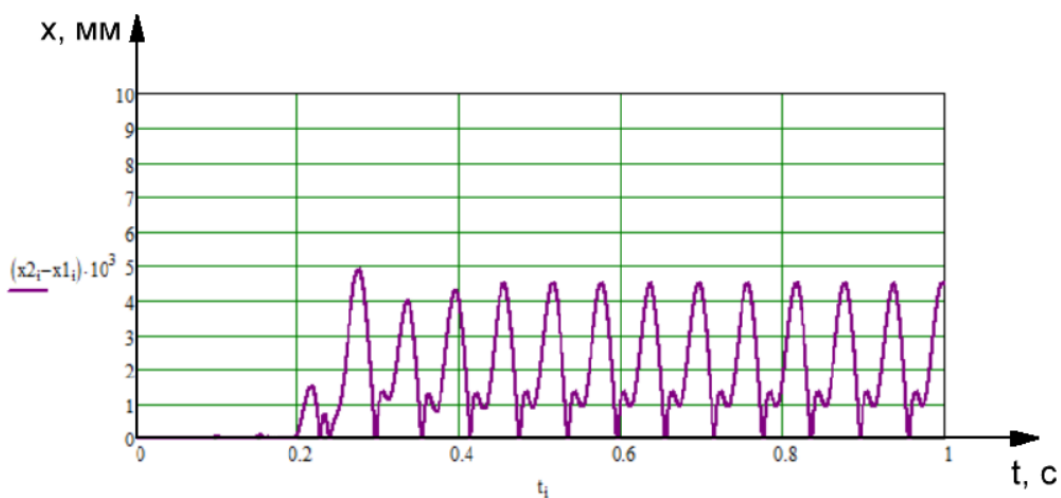


Рис. 5.6 Зависимость разницы амплитуд материала помола и помольной камеры ($x_2 - x_1$) во времени

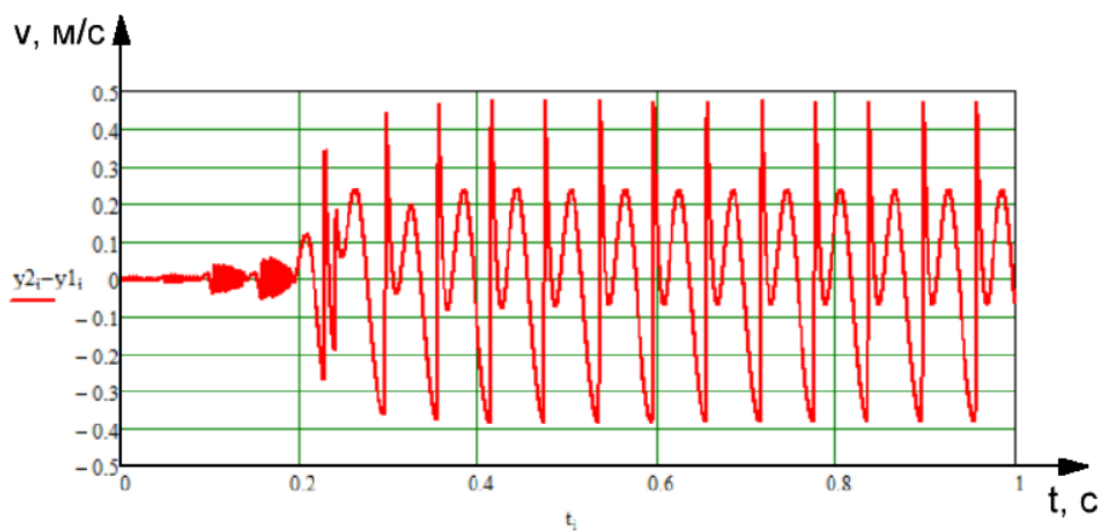


Рис. 5.7 Зависимость разницы скоростей помольной камеры и ее содержимого ($v_2 - v_1$) во времени

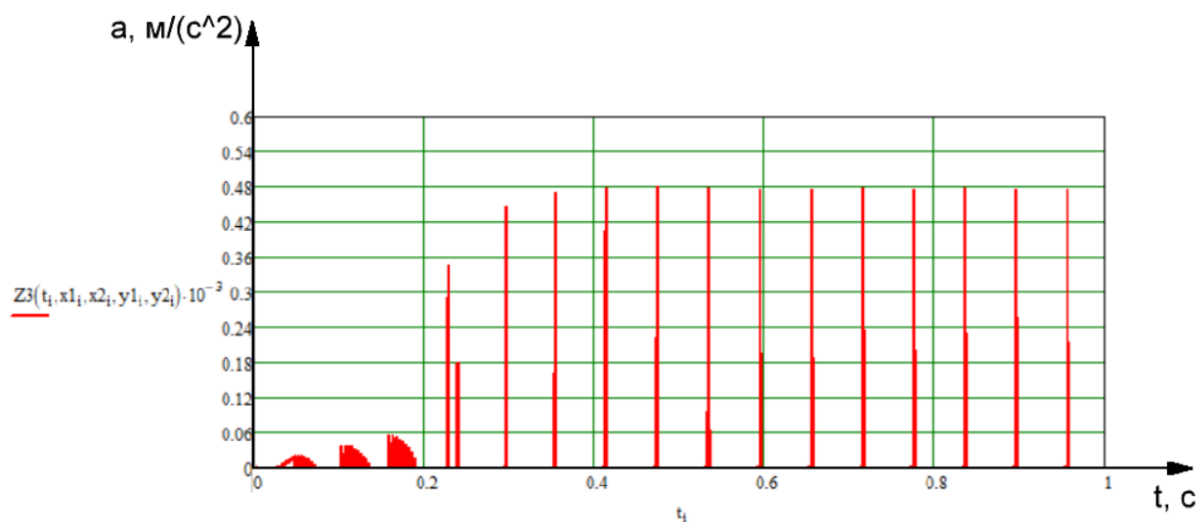


Рис. 5.8 Зависимость ускорения (a_2) содержимого помольной камеры во времени

Как видно из представленных рисунков амплитуды колебаний помольной камеры находится в районе 2 мм, а в начальный момент она достигает 6 мм. Амплитуды колебаний помольной камеры достигают 4 мм.

При амплитуде возмущающей силы $F_m = 2580$ Н механическая мощность колебаний равна:

$$P_{\Sigma} = 340,4 \text{ Вт}, \quad (45)$$

Главной особенностью работы ЭШМКТ являются систематически повторяющиеся моменты отрывов и столкновений, вызывающие разрушение и измельчение рудных материалов внутри ПК. Причём, чем больше будет зазор между мелющим телами, дном ПК и рудным материалом, тем процесс разрушения будет более эффективным. Для данных параметров системы отрывы находятся в пределах 4÷5 мм (рис. 4.6). На графике зависимости разницы скоростей ПК и МП от времени (рис. 4.7) видны резкие увеличения разности скоростей, а на рис. 4.8 видно, как происходит увеличение ускорения содержимого ПК (достигает $0,48 \cdot 10^3$ м/с²). В моменты ударов материала помола сообщается ускорение, скорость резко начинает возрастать, происходит отрыв. В момент соприкосновения разность скоростей отрицательная, это обусловлено тем, что помольная камера движется со скоростью под действием возмущающей силы, а скорость материала помола равна нулю. Затем материал помола сообщается кинетическая энергия, скорость начинает возрастать, а скорость самой помольной камере начинает убывать под действием возвращающей силы пружин и возмущающей силы, которая находится в противофазе с движением помольной камерой.

При проектировании и конструировании опытного образца ЭШМКТ параметры системы могут изменяться. Например, при измельчении руды, коэффициент механических потерь будет изменяться. Также, важным условием

является частота возмущающей силы и отношение масс помольной камеры и материала помола. Анализ этих параметров будет приведен ниже.

Для параметров, приведённых в таблице 1, а также выбранных значениях частоты и амплитуды возмущающей силы построим амплитудно-частотную характеристику, которая приведена на рис. 4.7.

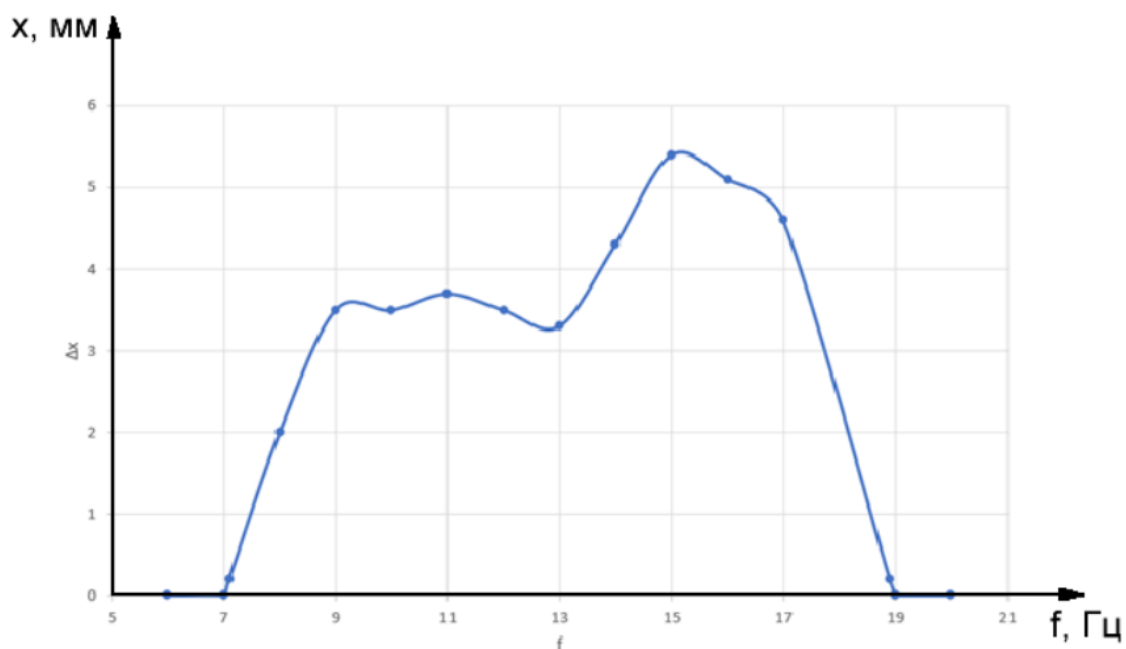


Рис. 5.9 Зависимость разницы амплитуд материала помола и помольной камеры ($x_2 - x_1$) от изменения частоты f возбуждающей силы

Как видно из рис. 4.7 максимальные значения отрывов соответствует значению частоты около 15 Гц. Однако, как, можно будет убедиться в дальнейшем, качество резонанса формируется не только амплитудами отрывов, но и их частотой повторения.

5.2 Определение зоны стабильных колебаний материала, содержащегося в помольной камере

Для заданных параметров системы определим границы стабильных колебаний системы по частоте возбуждающей силы при неизменных массах и жесткости пружин:

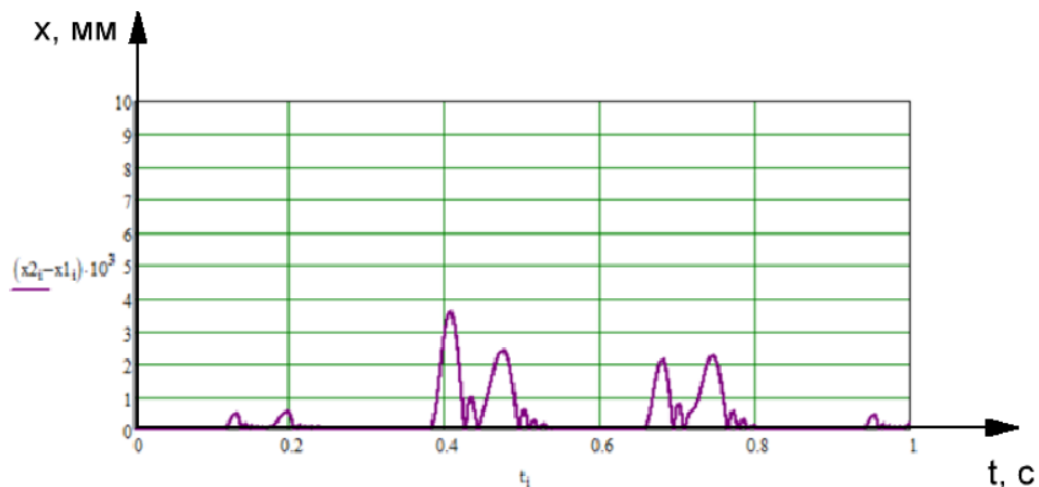


Рис. 5.10 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 11 Гц

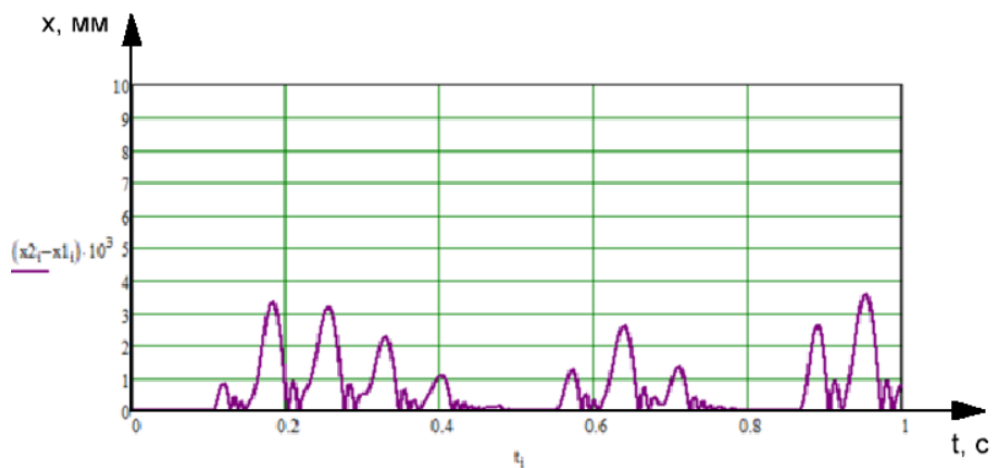


Рис. 5.11 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 13 Гц

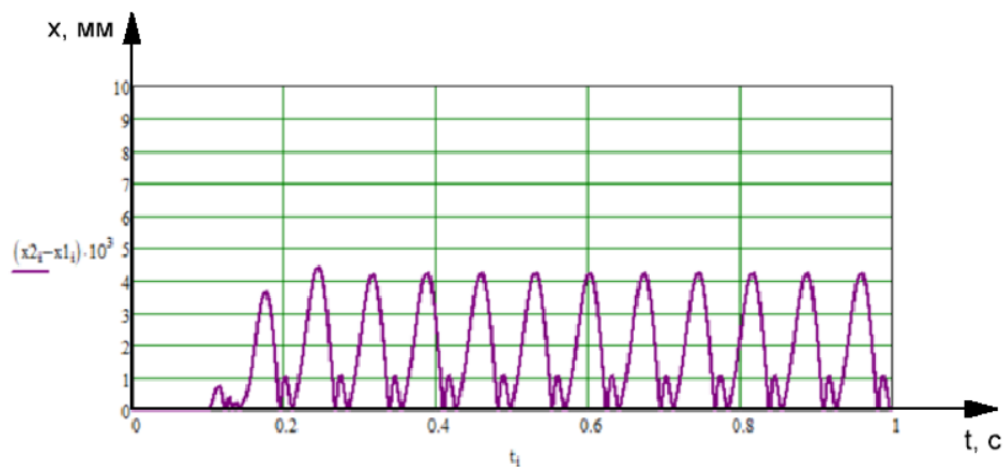


Рис. 5.12 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 14 Гц

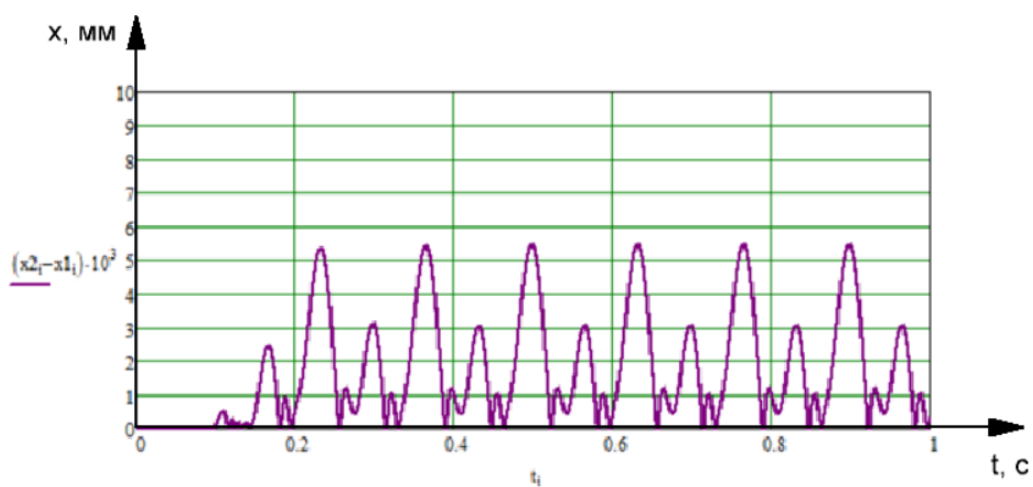


Рис. 5.13 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 15 Гц

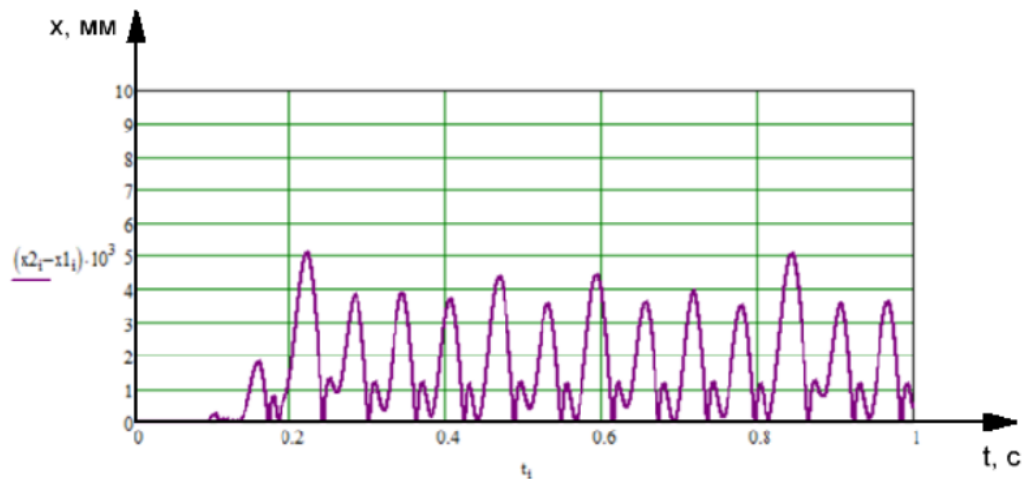


Рис. 5.14 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 16 Гц

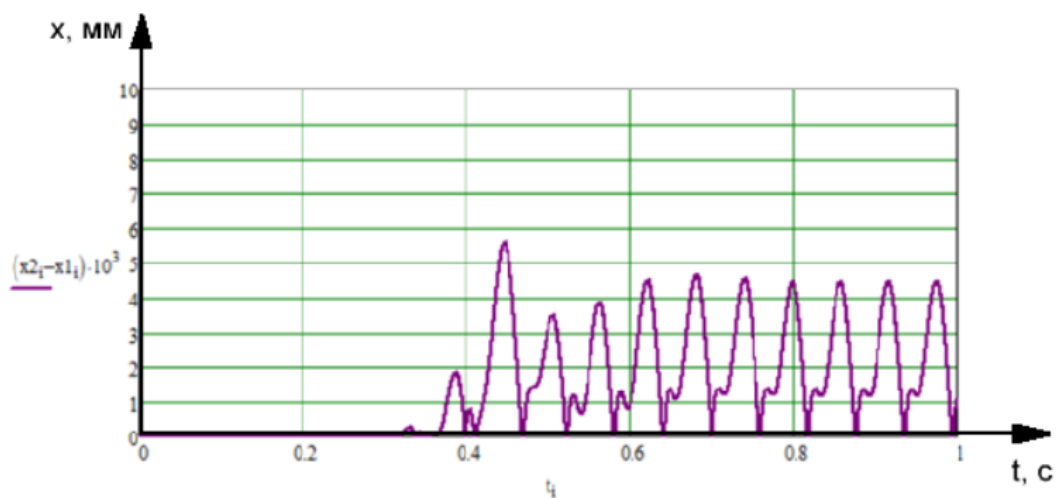


Рис. 5.15 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 17 Гц

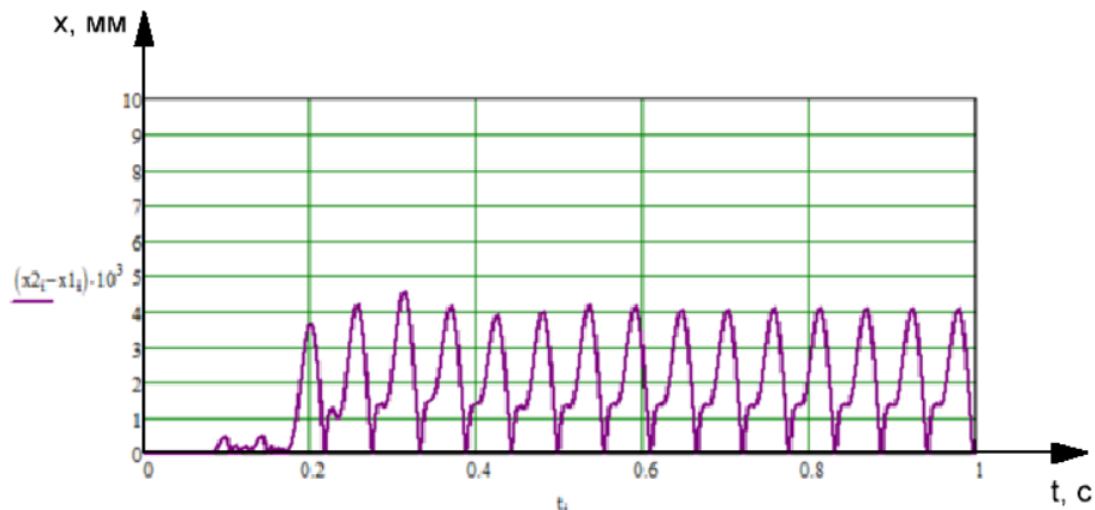


Рис. 5.16 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 18 Гц

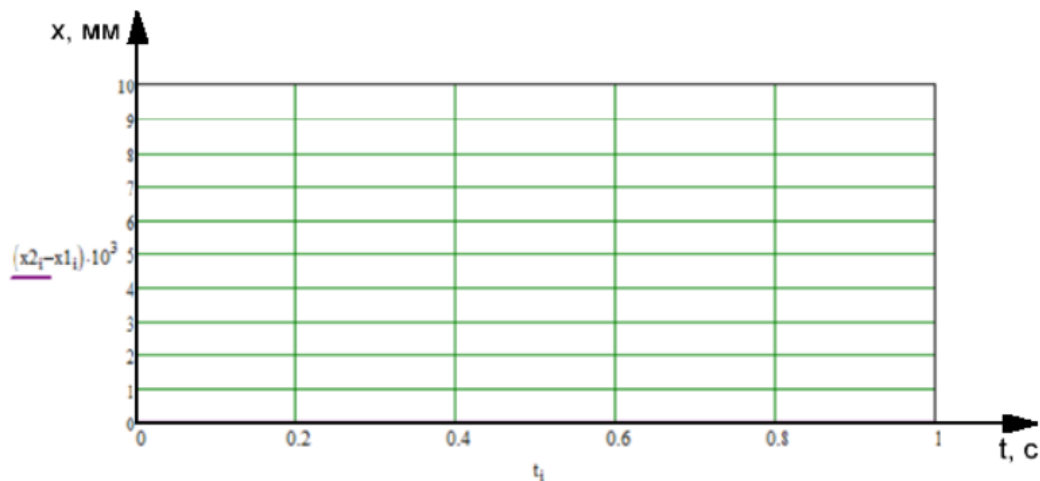


Рис. 5.17 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) во времени при частоте возбуждающей силы 19 Гц

Из графиков видно, что необходимая разность амплитуд (не менее 3 мм) достигается при частотах в диапазоне от 14 до 18 Гц. До 14 Гц отрывы МП от дна ПК имеют редкий характер. При увеличении частоты свыше 18 Гц резонансного режима не наблюдается, так как энергии для того, чтобы МП мог оторваться от дна ПК, не достаточно.

5.3 Исследование колебаний при различных соотношениях масс m_1 и m_2

Произведем исследование влияния изменения массы ПК в диапазоне от 0,25 до 1,75 от массы ее содержимого (руды и шаров). Суммарная масса системы остается неизменной.

$$m_1 + m_2 = \text{const}, \quad (46)$$

Для каждого шага коэффициента k_1 изменяется величина суммарной жесткости пружин C_1 . Принимаем коэффициент k_1 равным

$$k_1 = \frac{m_1}{m_2}, \quad (47)$$

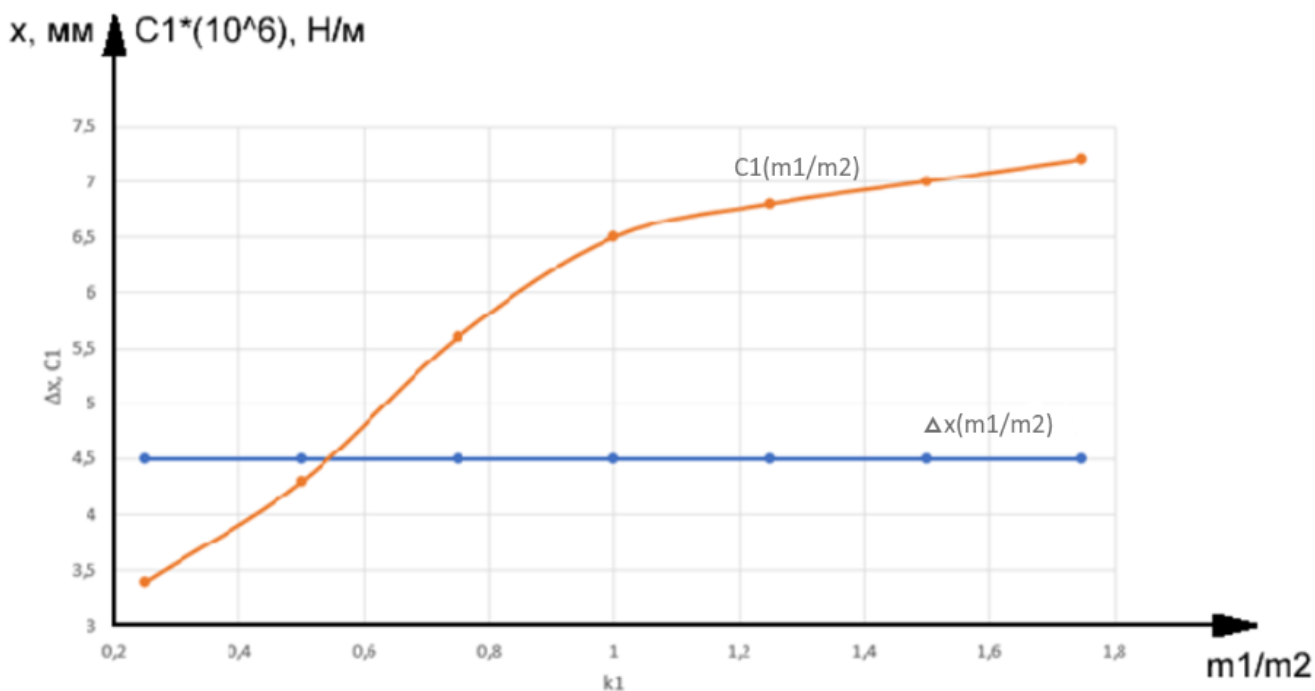


Рис. 5.18 Зависимость амплитуд зазоров МП и ПК ($x_2 - x_1$) и жесткости пружин системы (C_1) от времени при изменении отношения масс m_1 и m_2

Как видно из графиков, при изменении отношения массы ПК к массе ее содержимого от 0,25 до 1,75 и при постоянстве массы системы (28), необходимая

жесткость пружин начинает увеличиваться, однако значение амплитуд при резонансе остается неизменным.

Причина постоянства амплитуды в том, что суммарная масса системы остается неизменной. Масса ПК жестко связана с пружинами, поэтому величина массы ПК более сильно влияет на жесткость, так как изменяется собственная частота колебаний ПК.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_1}{m_1}}, \quad (48)$$

Масса МП не оказывает такого весомого влияния на резонансную частоту, а поэтому и на жесткость пружин, так как действует она не все время, а периодически.

Приведем также график зависимости амплитуд зазоров ПК и её содержимого при изменении только массы ПК, масса содержимого не изменяется на рис. 4.19.

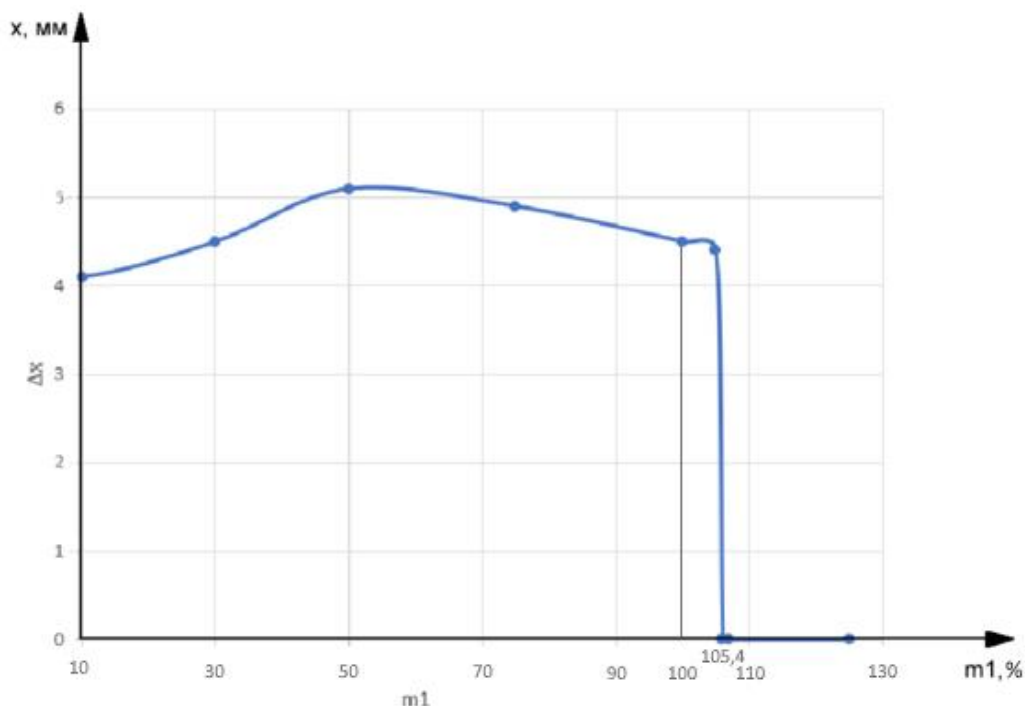


Рис. 5.19 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК ($x_2 - x_1$) при изменении массы m_1 ($m_2 = \text{const}$)

Как видно из рисунков, что принятое значение силы ($F_m = 2580 \text{ Н}$) практически минимально возможное значение силы. При увеличении массы ПК до значения 105,4% система выходит из резонанса (зазоров не возникает), что говорит о том, что величины возбуждающей силы недостаточно.

При уменьшении массы ПК возможно незначительное увеличение амплитуд зазоров, однако изменение массы ПК приводит к изменению собственной частоты колебаний ПК, что негативно влияет на эффективность помола. При изменении собственной частоты колебаний ПК возникает сдвиг с частотой возбуждающей силой. А это процесс аналогичный тому, который исследовался в п. 3.2. Также уменьшение металлоемкости конструкции ПК может негативно сказаться на ее механической прочности.

5.4 Исследование колебаний при изменении величины R_2

В процессе измельчения коэффициент механических потерь среды внутри ПК будет изменяться, это обусловлено изменением величины кусков руды.

Произведем исследование влияния изменения коэффициента пропорциональности $k_2 = R_{var}/R_{const}$ в диапазоне от 0,25 до 1,75 на разность перемещений ПК и ее содержимого. При этом коэффициент механического сопротивления будет изменяться в соответствие с зависимостью:

$$R_2 = R_r \cdot S_2 \cdot k_2, \quad (49)$$

Результаты моделирования процессов в ЭШМКТ при изменении R_2 демонстрируются рисунке 31.

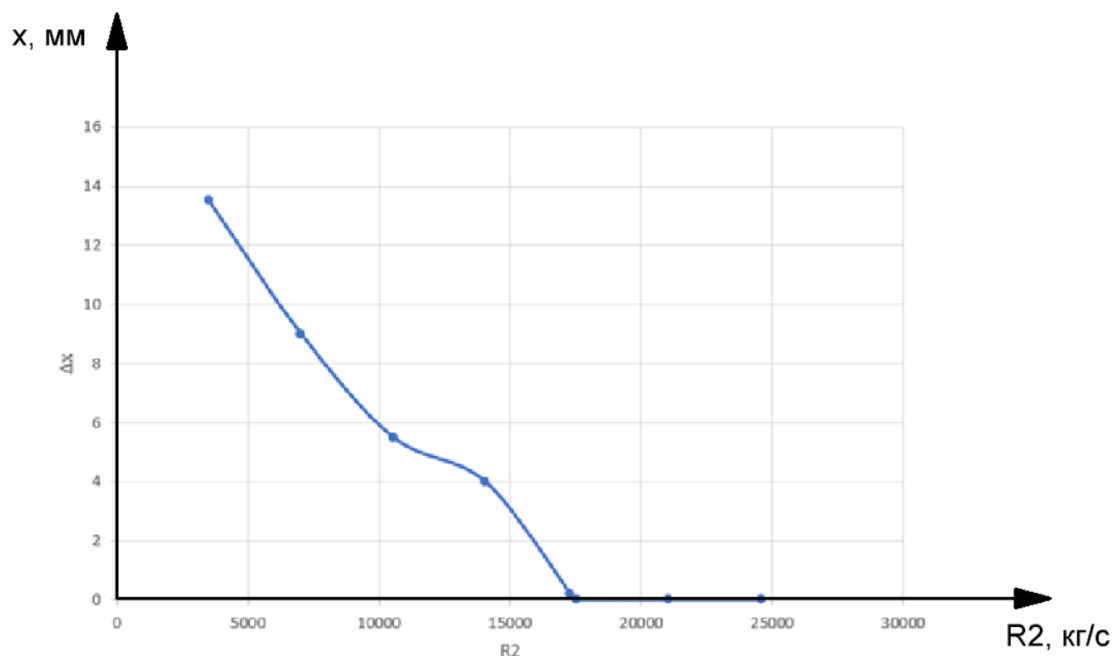


Рис. 5.20 Зависимость разницы амплитуд МП и ПК содержимого ($x_2 - x_1$) при изменении R_2

По результатам исследований влияния коэффициента механических потерь среды на режимы работы ЭШМКТ получаем, что с увеличением коэффициента уменьшается разность амплитуд ПК и МП. Это объясняется тем, что с ростом коэффициента R_2 возрастают затраты энергии на преодоление сопротивления среды. В момент, когда $R_2 = 1,75 \cdot 10^4$ кг/с, потери при движении МП настолько велики, что отрывов ПК и МП не возникает.

В результате проведенного анализа можно отметить, что зона резонанса находится в пределах $14 \div 18$ Гц. Нами принято значение в 16,6 Гц.

Величина амплитуды возмущающей силы, достаточная для обеспечения эффективной работы ЭШМКТ, должна составлять не менее 2580 Н. Этого достаточно для преодоления заданного коэффициента механических потерь среды и создания зазоров между ПК и МП в установленных пределах $3 \div 5$ мм. Приведённые данные служат основанием для выбора параметров системы возмущающей силы.

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- планирование научно-исследовательских работ;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

6.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1. Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Повышение производительности труда пользователя	0.05	1	1	1	0.05	0.05	0.05
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0.1	4	4	4	0.4	0.4	0.4
Уровень шума	0.075	3	3	3	0.225	0.225	0.225

Надежность	0.05	4	3	3	0.2	0.15	0.15
Безопасность	0.1	3	3	3	0.3	0.3	0.3
Энергоэкономичность	0.125	4	1	1	0.5	0.125	0.125
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность продукта	0.1	5	2	3	0.5	0.2	0.3
Уровень проникновения на рынок	0.05	5	2	2	0.25	0.1	0.1
Цена	0.075	3	3	3	$\frac{0.22}{5}$	0.225	0.225
Предполагаемый срок эксплуатации	0.1	4	3	3	0.4	0.3	0.3
Послепродажное обслуживание	0.075	4	3	4	0.3	0.225	0.3
Финансирование научной разработки	0.05	4	1	1	0.2	0.05	0.05
Наличие сертификации разработки	0.05	2	1	1	0.25	0.05	0.05
Итого	1	49	30	32	3.8	2.4	2.575

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 2, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot b_i ,$$

где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Итог анализа:

Данная виброустановка является энергоэффективной, а также, в системе используется частотно регулируемая система, что гарантирует надежную работу и простоту в управлении, а также возможность легкой настройки для автоматических режимов работы.

Данный анализ показывает, что продукт конкурентоспособен, и он может заинтересовать инвесторов, т.к. экономия энергии и ресурсов является одной из главных задач современности.

6.2 SWOT-анализ проекта

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Применительно к проектируемой АСР уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 6.2.

Таблица 6.2 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии. С2. Экологичность технологии. С3. Квалифицированный персонал.	Слабые стороны проекта: Сл1. Трудность монтажа оборудования Сл2. Дороговизна оборудования Сл3. Сложность эксплуатации электрооборудования
Возможности: В1. Существование потенциального спроса на новый продукт со стороны нефтяных компаний; В2. Возможность выхода на мировой рынок; В3. Привлечение потенциальных клиентов в качестве инвесторов.	В1С1С2; В2С1С2С3; В3С1С2;	В1Сл1Сл3 В2Сл2Сл3; В3Сл2;

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства у зрелых компаний;</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства.</p>	<p>У1С3;</p> <p>У2С1;</p>	<p>У1Сл1Сл2Сл3;</p> <p>У2Сл2;</p>
---	---------------------------	-----------------------------------

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 6.3 и 6.4, показывает, что сильных сторон у проекта значительно больше, чем слабых. Кроме того, угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Таблица 6.3 - Интерактивные матрицы возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3
	В1	+	+	-
	В2	+	+	+
	В3	-	+	-
	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	+	-	+
	В2	-	+	+
	В3	-	+	-

Таблица 6.4 - Интерактивные матрицы угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта			
		С1	С2	С3
	У1	-	-	+
	У2	+	-	-
	Слабые стороны проекта			
		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	+	+	+
	У2	-	+	-

В результате анализа было установлено, что разрабатываемая установка имеет следующие минусы и угрозы: сложность эксплуатации и отсутствие спроса на данную установку. Данные проблемы решаются путем подбора квалифицированного персонала, который сможет обучить пользователей установки правильно пользоваться ей, и также представить данное изобретение обществу как экономически и энергоэффективным, полезным и инновационным.

6.3 Планирование научно-исследовательских работ

6.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники, преподаватели, инженеры, лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и произведено распределение исполнителей по видам работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 - Распределение исполнителей по данным видам работ

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления технического проектирования завода	2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер
Расчеты и проектирование системы электроснабжения	3	Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	Инженер, научный руководитель

лабораторной установки	4	Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	Инженер, научный
			руководитель
	5	Проведение графических построений и обоснований (генплан завода и генплан цеха, разработка электрической схемы.)	Инженер, научный руководитель
Обобщение и оценка результатов	6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер совместно с научным руководителем
Оформление отчета по техническому проектированию	7	Составление пояснительной записки	Инженер
	8	Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	Научный руководитель

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта

Основная часть стоимости разработки в большинстве случаев складывается из трудовых затрат, таким образом определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования является важным моментом.

Трудоемкость выполнения научного исследования производится с помощью экспертной оценки, измеряется в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используют следующую формулу:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (50)$$

Где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы человек-дней;

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

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), человек-дней.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (51)$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

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

6.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта - горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}} , \quad (52)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$K_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = \frac{365}{299} = 1,22 , \quad (53)$$

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

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

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

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения сведены в таблицу 6.6.

Таблица 6.6 – Рассчитанные сведения

Название Работы	Трудоёмкость работ						Исполнители	Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожі} ,$ чел-дни					
	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер	Науч. рук-ль	Инженер

Составление и утверждение технического задания	1	-	2	-	1,4	-	1	-	1,4	-	1,7	
Подбор и изучение материалов по теме	-	3	-	6		4,2	1	1	-	4,2		5,12
Проектирование системы внутризаводского электроснабжения	2	15	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	23,18
Проектирование системы внутрицехового электроснабжения	2	20	4	25	2,8	19	1	1	2,8	19	3,41	28,18
Проведение графических построений и обоснований	1	15	2	14	1,4	10,8	1	1	1,4	10,8	1,7	18,17
Оценка эффективности полученных результатов	2	5	4	7	2,8	5,8	1	1	2,8	5,8	3,4	7,07
Составление пояснительной записки	-	6		10		7,6		1		7,6		9,27
Проверка выпускной квалификационной работы руководителем	3		5		3,8		1		3,8		4,6	
Итого											107,21	

Итого длительность работ – 110 календарных дней

На основе таблицы 6.6 строится календарный план - график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Календарный план-график проведения НИОКР приведен в таблице 6.7.

Таблица 6.7 - Календарный план-график

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Тк _ж , кал.д н	Продолжительность выполнения работ													
				Фев.		Март			Апр.			Май			Июнь		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Составление ТЗ	Руководитель	2														
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер	5														
3	Проектирование системы внутризаводского ЭС	Инженер, Руководитель	23														
4	Проектирование системы внутрицехового ЭС	Инженер, Руководитель	28														
5	Проведение графических построений и обоснований	Инженер, Руководитель	19														
6	Оценка эффективности полученных результатов	Инженер, Руководитель	7														
7	Составление пояснительной записки	Инженер	9														
8	Проверка ВКР	Руководитель	5														

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 12 декад, начиная со второй декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Учитывая вероятностный характер оценки трудоемкости, реальная продолжительность работ может быть, как меньше (при благоприятном стечении обстоятельств), так и несколько превысить указанную продолжительность (при неблагоприятном стечении обстоятельств).

Далее, по диаграмме Ганта можно предварительно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя.

Занятость исполнителей сводится в таблицу 6.8.

Таблица 6.8 - Занятость исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней работы	25	85
Количество нерабочих дней за период выполнения проекта	6	24
Продолжительность выполнения проекта, в рабочих днях	19	61

Календарная продолжительность выполнения технического проекта составит 110 дней. Из них:

85 день – рабочая занятость инженера;

25 дней – рабочая занятость руководителя;

Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 80 дней.

Из них:

61 дней – продолжительность выполнения работ инженером;

19 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

6.4 Расчет бюджета для научно-технического исследования

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;

-покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды (проведение испытаний, контроль, содержание, ремонт и эксплуатация оборудования, зданий, сооружений, других основных средств и прочее), а также запасные части для ремонта оборудования, износа инструментов, приспособлений, инвентаря, приборов, лабораторного оборудования и других средств труда, не относимых к основным средствам, износ спецодежды и других малоценных и быстроизнашивающихся предметов;

-покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;

-сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований);

В материальные затраты, помимо вышеуказанных, включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в научной организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_m = (1 + \kappa_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi} , \quad (54)$$

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

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

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

kT – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Величина коэффициента (kT), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Материальные затраты, необходимые для данной разработки, приведены в таблице 6.9.

Таблица 6.9 - материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество		Цена за ед.,руб		Затраты на материалы, (Зм),руб.	
		Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Компьютер	Шт	1	1	31000	27000	31000	27000
Принтер	Шт	1	1	5000	3000	5000	3000
Mathcad	Шт	1	1	2500	2500	2500	2500
Бумага —SvetoCopy	Шт	1	1	250	250	250	250
Спец. ПО	Шт	4	3	1500	700	6000	2100

Канцелярские принадлежности	-	-	-	-	-	1000	1000
Итого	81600					45750	35850

6.4.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Полная заработная плата сотрудника ТПУ:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп} , \quad (55)$$

где $З_{осн}$ - основная заработная плата;

$З_{доп}$ - дополнительная заработная плата (12-15 % от $З_{осн}$).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{доп} = k_{доп} \cdot З_{осн} , \quad (56)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с

обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Среднедневная заработная плата для сотрудника ТПУ рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_{осн} + З_{допл} + З_{р.к.}}{F_{д}}, \quad (57)$$

где, $F_{д}$ – количество рабочих дней в месяце (26 при 6-дневной рабочей неделе), раб. дн.

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

$З_{допл}$ – доплаты и надбавки, руб. (50%);

$З_{р.к.}$ – районная доплата, руб. (30%);

Основная заработная плата $З_{осн}$ руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (58)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата работника, руб.;

$З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

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

Расчет основной заработной платы приведен ниже.

$$З_{рук} = 24 \text{ ч} \cdot 300 \text{ руб/ч} = 7200 \text{ руб}$$

$$З_{инж.осн} = 61 \text{ д} \cdot 561,5 \text{ руб/д} = 36497,5 \text{ руб}$$

$$З_{общ.осн} = 7200 + 36497,5 = 43697,5 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата составляет 12 – 15% от основной, расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 - расчет дополнительной и полной заработной платы

Исполнители	$k_{\text{доп}}$	$Z_{\text{осн, руб.}}$	$Z_{\text{доп, руб.}}$	$Z_{\text{полн, руб.}}$
Руководитель	-	7200	-	7200
Инженер	0,12	36497,5	4379,7	40877,2
Итого $Z_{\text{осн, руб.}}$		43697,5	4379,7	48077,2

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

6.4.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (59)$$

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

На 2016 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды по формуле (59):

$$З_{внеб} = 0,271 \cdot 48077,2 = 13028,9 \text{ руб.}$$

6.4.4 Накладные расходы

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

$$З_{накл} = (\text{сумма статей}) \cdot k_{нр}, \quad (60)$$

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

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

6.4.5 Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку технической продукции.

К материальным затратам относятся: бумага, спец. ПО, канцелярские принадлежности. Компьютер, принтер и Mathcad после разработки установки

можно продать. Срок эксплуатации составляет 7 лет, срок пользования составляет 4 месяца. Амортизация составляет:

$$A = \frac{(31000 + 27000 + 5000 + 3000 + 2500 + 2500) \cdot 4}{12 \cdot 7} = 3380,9 \text{ рублей,} \quad (61)$$

Определение бюджета затрат на научно технический проект приведен в таблице 6.11.

Таблица 6.11 Затраты на научно технический проект

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.
1. Материальные затраты	10600
2. Амортизация	3380,9
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	43697,5
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	4379,7
5. Отчисления во внебюджетные фонды	13028,9
6. Накладные расходы	25455,3
7. Бюджет затрат на технический проект	100542,3

Исходя из представленной выше таблицы, можно сделать вывод, что общие затраты на реализацию технического проекта составят примерно 101 тысячи рублей, из которых большую часть составят затраты по основной з/п. При необходимости снизить общие затраты на реализацию проекта, рекомендуется использовать в качестве выборки оборудования какое-либо другое исполнение.

6.5 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i , \quad (62)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент разработки;

b_i – бальная оценка разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

Расчет показателя конкурентоспособности приведен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 Показатель конкурентоспособности

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	4
3. Надежность	0,15	5
4. Безопасность	0,2	5
5. Простота эксплуатации	0,1	4
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4
7. Уровень проникновения на рынок	0,2	4
ИТОГО	1,0	30

$$I_{p-исп 1} = 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,2 = 4,35$$

Также рассмотрим конкурентоспособность уже существующей установки для исследования реологии жидкостей – вискозиметра серии SV-1А. Преимуществом этой установки заключаются в распространенности на рынке, а недостатками являются: в неудобстве и сложности эксплуатации и меньшей

надежности. Показатель конкурентоспособности данной установки приведены в таблице 6.13.

Таблица 6.13 Показатель конкурентоспособности вискозиметра серии SV-1А

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Бальная оценка разработки
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	3
3. Надежность	0,15	4
4. Безопасность	0,2	5
5. Простота эксплуатации	0,1	3
6. Конкурентоспособность продукта	0,1	4
7. Уровень проникновения на рынок	0,2	5
ИТОГО	1,0	30

$$I_{p-исп\ 2} = 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 = 4,2$$

Показатель конкурентоспособности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-бальной шкале), больше существующего основного конкурента, что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и помехоустойчивости позволяют судить о надежности системы.

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.1 Введение

Для начала разберемся с понятием, социальная ответственность — это концепция, в соответствии с которой организации учитывают интересы общества [1], возлагая на себя ответственность за влияние произведенной ими продукции на потребителя, другими словами продукт производства должен полностью обеспечивать безопасные условия труда. В Российском законодательстве существует свод законов, посвященный охране труда, который включает в себя правила, нормы, стандарты безопасности труда, а также комплекс различных социально – экономических и организационных мероприятий.

В данном разделе будет подробно рассмотрен вопрос о возможности возникновения вредных и опасных факторов при производственном использовании электромагнитной колебательной шаровой мельницы.

7.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.2.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

Правила безопасного ведения работ регламентируются в приказе Ростехнадзора от 11.12.2013 N 599 (ред. от 21.11.2018) "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" (Зарегистрировано в Минюсте России 02.07.2014 N 32935) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2020) [11].

Допуск к работе имеют лица не моложе 18-ти лет, прошедшие медицинское освидетельствование в установленном порядке и не имеющие противопоказаний к выполнению данного вида работ, обученные безопасным

методам и приемам работы, применению средств индивидуальной защиты, правилам и приемам оказания первой медицинской помощи пострадавшим и прошедшие проверку знаний в установленном порядке.

К выполнению работ допускаются руководители, специалисты и рабочие, обученные и сдавшие экзамены на знание правил безопасности и техники безопасности, умеющие пользоваться средствами индивидуальной защиты и знающие способы оказания первой (доврачебной) помощи.

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации.

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

Сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ).

Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ).

Повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ) [12].

7.2.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Согласно рекомендациям, прописанным в приказе Ростехнадзора от 11.12.2013 N 599 (ред. от 21.11.2018) "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" (Зарегистрировано в Минюсте России 02.07.2014 N 32935) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2020) [11], компоновка рабочей зоны должна соответствовать следующим критериям:

При местном управлении пусковые устройства мельниц и классификаторов должны быть расположены таким образом, чтобы работник, включающий мельницу и классификатор, мог наблюдать за их работой;

Для обслуживания классификаторов рабочие площадки необходимо располагать на уровне не менее чем 600 мм ниже борта ванны классификатора. Со стороны, противоположной ванне классификаторов, рабочие площадки оборудуют металлическими перилами высотой 1000 мм. На классификаторах должны быть мостики (площадки) с перилами для безопасного обслуживания механизмов вращения и подъема спиралей или реек, а также ограждения элементов привода согласно требованиям настоящих Правил. Вдоль всей площадки обслуживания, на борту ванны классификатора, необходимо устанавливать сетчатое ограждение с размером ячеек 25х25 мм и высотой не менее 300 мм.

7.2 Производственная безопасность

В наше время горнопромышленной отрасли уделяется большое внимание производственной безопасности. Это обусловлено тем, что отрасль является одной из наиболее травмоопасных для человека.

В таблице 1 наглядно продемонстрированы опасные и вредные производственные факторы.

Таблица 7.1 Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разраб отка	Изгото вление	Эксплу атация	
1. Повышенный уровень вибрации.			+	ГОСТ 31191.1-2004 [13] ГОСТ 12.1.003-2014 [10] ГОСТ 12.1.038-82 [14]
2. Превышение уровня шума.		+	+	
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи.	+	+	+	

Анализ опасных и вредных производственных факторов

В данном разделе разберем подробно факторы, которые воздействуют на организм человека в процессе эксплуатации электромагнитная колебательная шаровая мельница, с помощью ее цементированная. А также нормативные значения этих факторов, которые не вызывают осложнений, и мероприятия, направленные на снижение или ликвидацию этих факторов. Опасными производственными факторами называются факторы, которые способны при определенных условиях вызывать острое нарушение здоровья и гибель организма.

Повышенный уровень вибрации

По способу передачи вибрации на тело человека выделяют локальную и на общую. Общая вибрация передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Локальная вибрация, возникает при работе с ручным

механизированным инструментом. Постоянное воздействие вибрации на организм человека может привести к профессиональному заболеванию – вибрационной болезни. При работе с электромагнитной колебательной шаровой мельницей могут возникнуть:

- общая вибрация 2 категории — транспортно-технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений и т. п.;
- общая вибрация 3 категории — технологическая вибрация, воздействующая на человека на рабочих местах стационарных машин или передающаяся на рабочие места, не имеющих источников вибрации.

СИЗ от вибраций являются: рукавицы, перчатки, виброзащитная обувь и прокладки из пластмасс, резины. Крайне необходимой мерой для уменьшения опасного действия вибрации на организм является медицинское наблюдение, лечебно-профилактические мероприятия, и конечно, правильная организация труда и отдыха.

Технические нормы ограничивающие нормы вибрации представлены в таблице 2 [17].

Таблица 7.2 Ограничивающие нормы вибрации [17]

Частота, Гц	Виброинструмент		Рабочее место	
	уровень колеб. скорости, дБ	колеб. скорость, см/с	уровень колеб. скорости, дБ	колеб. скорость, см/с
16	120	5,0	97	0,35
32	117	3,5	93	0,22
63	114	2,5	95	0,27
125	111	1,8	97	0,35

250	108	1,2	97	0,35
500	105	0,9	-	-
1000	102	0,63	-	-
2000	99	0,45	-	-

Превышение уровня шума

Шум и вибрация — это механические колебания, распространяющиеся в газообразной и твердой средах. Шум и вибрация различаются между собой частотой колебаний. Так как наша колебательная установка подразумевает вибрацию, то она будет и источником производственного шума в том числе.

Производственный шум - это совокупность различных шумов, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм. При повышенном уровне шума у работающих снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций, снижается производительность труда и качество выполняемых работ. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях и к глухоте.

Шум на рабочем месте не должен превышать 85 дБА [18]. И соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003-2014 "Шум. Общие требования безопасности"[10].

Для защиты работников от воздействия шума используют индивидуальные и коллективные средства защиты. К СИЗ относят наушники, вкладыши, шлемы, а к коллективным - звукоизоляцию и звукопоглощение, а также предусматривается установка кожухов и глушителей.

Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Поражение электрическим током возможно из-за

доступности прикосновения к токоведущим частям, отсутствия защитного

заземления, не применения защитных средств, при обслуживании электроустановок.

С целью снижения вероятности поражения рабочих электрическим током необходимо проводить следующие мероприятия:

- проектирование, монтаж, наладка, испытание и эксплуатация электрооборудования установок должны проводиться в соответствии с требованиями «Правил устройства электроустановок» (ПУЭ), «Межотраслевые правила по ОТ при эксплуатации электроустановок»;
- применения защитного заземления измельчительной установки;
- применение блокировочных устройств;
- применение СИЗ при обслуживании электроустановок;
- применение средств коллективной защиты: оградительные, автоматического контроля и сигнализации, изолирующие устройства и покрытия, устройства защитного заземления и зануления, устройства автоматического отключения, плакаты по охране труда [14].

7.3 Экологическая безопасность

Защита атмосферы

Основным и постоянным источником загрязнения атмосферы при вибрационном измельчении материалов является шлам. В состав которого входят различные реагенты, мелкие частицы горной породы и т.п. Сущность загрязнения атмосферы, заключается негативном воздействии шлама, путем выделения легких фракций пыли с поверхности разрушаемой породы.

В настоящее время, существует ряд мероприятий, направленных на защиту атмосферы:

Внедрение в производственный процесс измельчения материалов дополнительных очистных установок.

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация — это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие смерти, а также ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Чрезвычайные ситуации на территории нахождения установки по сфере возникновения можно разделить на несколько типов:

- Техногенного характера (аварии на электроэнергетических сетях, пожары, обрушение зданий и сооружений);
- Природного характера (землетрясения, ураганы, крупный град, сильный дождь, снегопад, гололед, мороз, лесные пожары);
- Биолого-социального и социального характера (единичные случаи экзотических и особо опасных инфекционных заболеваний, эпидемии и т.д, терроризм в различных его проявлениях);
- Экологического характера;
- Военного характера.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией на территории установки является внезапное разрушение зданий и сооружений, вызванное негативным действием вибраций.

Вибрация в той или иной степени подвержены все твердые тела, и их воздействие может быть решающим фактором разрушения строительной конструкции при превышении допустимого уровня и времени воздействия.

Причины вибрации:

- естественные – сезонные движения грунта, сейсмическая активность;
- искусственные – движение транспорта, работа оборудования при проведении различного рода работ.

Последствия вибрации:

- разрушение каменной и кирпичной кладки;
- отслаивание бетона от арматуры в железобетонных конструкциях;
- нарушение стыков соединений несущих конструкции и перекрытий;
- негативное влияние на здоровье людей.

Для снижения уровня вибрации в конструкциях зданий и сооружений предусматриваются различные архитектуру-конструкционные решения, а промышленное оборудование в обязательном порядке оборудуется виброзащитой, амортизаторами, виброизоляторами. Но в некоторых случаях полностью компенсировать вибрационные воздействия невозможно. Предельные уровни вибрации установлены ГОСТ Р 52892-2007[17].

Необходим постоянный контроль за вибрацией и своевременное обнаружение проявления её негативных последствий. Такие меры позволят своевременно провести ремонтные работы и не допустить возникновения аварийных ситуаций. Особое внимание контролю вибрации здания или сооружения уделяется, если предполагается, что ее воздействие может привести к повреждению и разрушению конструкции. В этом случае воздействие вибрации на конкретный объект исследуется на всех этапах его проектирования и эксплуатации [17].

7.5 Выводы по разделу

Таким образом, при производственном использовании электромагнитной колебательной шаровой мельницы происходит возможность возникновения

вредных и опасных факторов, таких как: повышенный уровень вибрации, превышение уровня шума, повышенное значение напряжения в электрической цепи. В целях безопасности, необходимо установить виброзащиты на установку, оградительные устройства, которые препятствуют взаимодействию человека с оборудованием, а также использовать предупредительные плакаты и знаки безопасности.

Существенного загрязнения окружающей среды, при использовании технологии вибрационного измельчения горных пород, не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В ходе выполнения данной работы была спроектирована электромагнитная колебательная шаровая мельница вибрационного типа (ЭШМВТ). Разработаны основные элементы конструкции, произведен расчет параметров ЭШМВТ среднего класса. Особенностью разработанной конструкции является использование тягового электромагнита (ТЭМ). В результате его работы, колебания ЭШМВТ совершаются в пределах одной оси, что избавляет конструкцию от паразитных нагрузок и увеличивает долговечность работы пружин подвеса.

2. Математическая модель ЭШМКТ разработана на основе уравнений движения ПК и материалов помола (МП). Решение системы уравнений движения ПК и МП было выполнено с помощью метода численных коэффициентов Рунге-Кутты в программе Mathcad. На основе созданной математической модели, был произведен анализ режимов работы ЭШМКТ. Основным критерием для оценки качества работы мельницы было выбрано её сравнение с прототипом.

3. При анализе изменения массы системы выяснили, что изменение пропорции масс (ПК и МП) при постоянстве суммарной массы влияет на собственную частоту колебаний системы, а, следовательно, на жесткость пружин. Причем, наибольшее влияние оказывает масса основания ПК.

4. Также было проведено исследование на изменение величины зазоров ПК и МП при изменении коэффициента механических потерь в ПК. С увеличением R_2 происходит уменьшение зазоров между днищем ПК и МП, а при величине $R_2 > 1,75 \cdot 10^4$ кг/с отрывов между ПК и МП не наблюдается.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение было произведено планирование выполнения ВКР, определена трудоемкость выполнения каждого этапа. В итоге построен календарный план-график выполнения работ. Рассчитаны материальные затраты на реализацию

проекта, заработная плата инженера и научного руководителя, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы.

В разделе социальная ответственность был произведен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть с КШМ на производстве, рассмотрены вопросы защиты. Исследовано влияние разрабатываемого устройства на окружающую среду. Среди возможных угроз это, прежде всего, загрязнение воздуха пылью.

Также, были рассмотрены вопросы профилактики и поведения при наиболее вероятной ЧС – внезапное разрушение зданий и сооружений, вызванное негативным действием вибраций.

По результатам проделанной работы можно сделать вывод, что все поставленные задачи на ВКР решены. Разработанная ЭШМКТ с выбранными параметрами обеспечивает соударение ПК и измельчаемого материала с высокими значениями кинетической энергии, что свидетельствует об эффективности процесса измельчения материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов: монография. М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. 238 с.
2. Моргулис М.Л. Современная техника тонкого измельчения и четкой классификации / Журнал Всесоюзного хим. Общества им. Д.И. Менделеева том 10.-М., 1965.-№1.-с. 67-72
3. Абдулова Светлана Радиковна Вибрационные мельницы: аспекты классификации // Вестник ИрГТУ. 2015. №3 (98). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <https://cyberleninka.ru/article/n/vibratsionnye-melnitsy-aspekty-klassifikatsii> (дата обращения 02.06.2020 г.).
4. Бабаков И.М. Теория колебаний. Дрофа, М., 2004. - с. 59.
5. А.с. 871820, СССР. Вибрационная мельница / Савченко В.П. - Оpubл. в О.И.,1981, №38
6. Сайт ООО «ЭКОСТРОЙМАТЕРИАЛЫ». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://www.penostroy.ru/mill.html> (дата обращения 02.06.2020 г.).
7. 05.02.13, диссертация на тему: Вертикальная вибрационная мельница. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://tekhnosfera.com/vertikalnaya-vibratsionnaya-melnitsa#ixzz6OB2UXFAU> (дата обращения 02.06.2020 г.).
8. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я., Алиев Ф.Р., Якушев Д.А., Горбенко В.М. Проблемы гидродинамических способов бурения скважин и основные направления для их решения. // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд. ТПУ, 2015. – Т. 326, №3. – С. 6–12.
9. Ковалев А.В., Алиев Ф.Р., Якушев Д.А. История развития шароструйного бурения // Труды XVII Международного симпозиума студентов и молодых

- учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2013 – С. 266–268.
10. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (Переиздание). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200118606> (дата обращения 28.05.2020 г.).
11. Приказ Ростехнадзора от 11.12.2013 N 599 (ред. от 21.11.2018) "Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых" (Зарегистрировано в Минюсте России 02.07.2014 N 32935) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2020). – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/499066482> (дата обращения 28.05.2020 г.).
12. Трудовой кодекс РФ – Режим доступа: свободный http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/ (дата обращения 25.05.2020 г.).
13. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200060904> (дата обращения 25.05.2020 г.).
14. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/5200313/> (дата обращения 25.05.2020 г.).

15. ГОСТ 12.0.004-90 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/gost-12-0-004-90-ssbt> (дата обращения 25.05.2020 г.).
16. ГОСТ Р 52892-2007 Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: свободный <http://docs.cntd.ru/document/1200064161/> (дата обращения 25.05.2020 г.).
17. СанПиН 2.2.4/2.1.8.566 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
18. СанПиН 2.2.4/2.1.8.562 – 96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Листинг программы Mathcad

ТЭ установлен вверху

```

f := 20
r2 := 0.03    Радиус шара, м          ρ := 7800    V2 :=  $\frac{4}{3} \pi \cdot r_2^3$ 
h1 := 0.03    Толщина основания, м

k := 10.02    Конструктивный коэффициент

m1 := k · (π · r22 · h1 · ρ)    m1 = 6.629    Масса основания, кг

m2 := ρ · V2    Масса шара, кг          m2 = 0.882    S := 11    Количество шаров
Mp := 0.339 · S    Масса руды, кг          Mp = 3.729

m2 := S · m2 + Mp    Масса всех шаров с рудой, кг          m2 = 13.433

P1 := m1 · 9.8    Сила тяжести основания, Н          P1 = 64.968

P1 := 0.1■

m1 + m2 = 20.062

P2 := m2 · 9.8    Сила тяжести всех шаров, Н          P2 = 131.641

P2 := 0.1■

q1 := 100000    Жёсткость подвеса основания

```

Параметры электромагнита

```

A := 0.1    Длина полюса электромагнита

B := 0.06    Ширина полюса электромагнита

Q := 0.133    Толщина обмотки электромагнита

B1 := 2 · Q + 2 · B + 0.01    Длина ярма электромагнита

Da := B1    Da = 0.396

lm := 1.41    Sполюс := A · B    Площадь полюса электромагнита

Rэл := 0.544

μ0 := 1.257 · 10-6

W := 200

μ := 1500

X0 := 0.0023    X1 := 0.001

```

$L(x1) := \frac{W^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{\left[2 \left(X0 + \frac{P1 + P2}{q1} - x1 \right) \cdot \frac{\mu}{10} + l_m \right] + 10 \cdot Q}$ $LL(x1) := \frac{d}{dx1} L(x1)$ $M(x1) := \frac{0.5 W^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{\left[2 \left(X0 + \frac{P1 + P2}{q1} - x1 \right) \cdot \frac{\mu}{10} + l_m \right] + 10 \cdot Q}$ $MM(x1) := \frac{d}{dx1} M(x1)$ $P := 35$ $\omega := 2 \cdot \pi \cdot f$ $E_m := P \cdot f \cdot 2^{0.5}$ $U(t) := E_m \cdot \sin(\omega \cdot t)$ $F(I, x1) := 5I^2 \cdot \frac{(2LL(x1) + 8MM(x1))}{173}$ <p>Частота возмущающей силы</p> $\omega_{\text{св}} := 2 \cdot \pi \cdot f$ $RR := 40$ $R1 := 10 \quad R1 := 10 \quad R21 := RR \quad R2 := R21 \cdot 10 \quad R2 = 400 \quad R2(t) := R21 \cdot \left[1 + (S - 1) \cdot \sin(20S \cdot \omega \cdot t) \right]^2$ $q := \omega^2 \cdot (m1 + m2) \quad q = 3.168 \times 10^5 \quad q_{m1} := \omega^2 \cdot m1 \quad q_{m1} = 1.047 \times 10^5$ <p>Шаг расчёта</p> $h := 10^{-6}$ <p>Число итераций расчёта</p> $d := 20$ $N := d10^5 \quad N = 2 \times 10^6$ <p>Время расчёта</p> $T_{\text{расч}} := N \cdot h \quad T_{\text{расч}} = 2$	$L(x1) := \frac{W^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{\left[2 \left(X0 - \frac{P1 + P2}{q1} - x1 \right) \cdot \frac{\mu}{10} + l_m \right] + 10 \cdot Q}$ $X0 - \frac{P1 + P2}{q1} = 3.339 \times 10^{-4}$ $M(x1) := \frac{0.5 W^2 \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot S}{\left[2 \left(X0 - \frac{P1 + P2}{q1} - x1 \right) \cdot \frac{\mu}{10} + l_m \right] + 10 \cdot Q}$ $L(0.00163) = 0.128$ $\frac{P1 + P2}{q1} + X0 = 4.266 \times 10^{-3}$ $L(0.000) = 0.113$ $f01 := \frac{\left(\frac{q1}{m1} \right)^{0.5}}{2 \cdot \pi}$ $f01 = 19.547$ $f02 := \frac{\left(\frac{q1}{m2} \right)^{0.5}}{2 \cdot \pi}$ $f02 = 13.732$ $f03 := \frac{\left(\frac{q1}{m1 + m2} \right)^{0.5}}{2 \cdot \pi}$ $f03 = 11.237$
--	---

Период колебаний

$$T_{\text{пер}} := \frac{T_{\text{расх}}}{f}$$

$$T_{\text{пер}} = 0.1$$

$$\frac{T_{\text{пер}}}{h} = 1 \times 10^5$$

Жёсткость между шаром и основанием при ударе!!

$$q_1 := 10^8$$

$$\Delta X(x1, x2) := x1 - x2$$

$$q21 := 0$$

$$q2(x1, x2) := \text{if}(x1 \geq x2, q, q21)$$

$$q3 := q1 \cdot \frac{P2}{(P1 + P2)}$$

$$q33(x1, x2) := \text{if}(x1 \geq x2, q3, 0)$$

$$q33(0, 0) = 6.696 \times 10^4$$

$$q2(x1, x2, y1, y2) := \text{if}(y1 > y2 < 0, q22(x1, x2), q21)$$

$$\omega01 := \sqrt{\frac{q1}{m1 + m2}}$$

$$\omega01 = 70.601$$

$$f01 := \frac{\omega01}{2 \cdot \pi}$$

$$f01 = 11.237$$

$$q11 := \omega01^2 \cdot (m1 + m2)$$

$$q11 = 1 \times 10^5$$

$$m1 + m2 = 20.062$$

$$\omega03 := \sqrt{\frac{q1}{m1}}$$

$$\omega03 = 122.818$$

$$f03 := \frac{\omega03}{2 \cdot \pi}$$

$$f03 = 19.547$$

$$\omega02 := \sqrt{\frac{q1}{m2}}$$

$$\omega02 = 86.281$$

$$f02 := \frac{\omega02}{2 \cdot \pi}$$

$$f02 = 13.732$$

$$\omega p1 := \sqrt{\omega01^2 - \frac{R2^2}{2 \cdot (m1 + m2)^2}}$$

$$\omega p1 = 69.179$$

$$f p1 := \frac{\omega p1}{2 \cdot \pi}$$

$$f p1 = 11.01$$

$$\omega p3 := \sqrt{\omega03^2 - \frac{R1^2}{2 \cdot m1^2}}$$

$$\omega p3 = 122.813$$

$$f p3 := \frac{\omega p3}{2 \cdot \pi}$$

$$f p3 = 19.546$$

$$\Sigma \omega := \frac{f01 + f02 + f03}{3}$$

$$\Sigma \omega = 14.839$$

Масса колебаний

$$M12(x1, x2) := \text{if}(x1 > x2, m1 + m2, m1)$$

Масса всех колеблющихся частей, кг

$$P21(x1, x2) := \text{if}(x1 \geq x2, P2, 0)$$

Сила тяжести шаров, действующая на основание

$$P012(x1, x2) := P1 + P21(x1, x2)$$

Возмущающая сила, действующая на шары

$$F22(I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(x1 \geq x2, F(I, x1), 0)$$

$$F2(I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(y1 > 0, F22(I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

$$B1(x1, x2) := \frac{m1}{m1 + m2}$$

$$A1(t, I, x1, x2, y1, y2) := B1(x1, x2) \cdot [F(I, x1) - P1 - P21(x1, x2) - R1 \cdot y1 - q1 \cdot x1 - q2(x1, x2) \cdot (x1 - x2) - R2 \cdot (y1 - y2)]$$

$$A2(t, I, x1, x2, y1, y2) := F2(I, x1, x2, y1, y2) - q2(x1, x2) \cdot (x2 - x1) - R2 \cdot (y2 - y1) - P2 - q33(x1, x2) \cdot x2$$

Сила инерции основания

$$F111(t, I, x1, x2, y1, y2) := \frac{B1(x1, x2) A2(t, I, x1, x2, y1, y2) + A1(t, I, x1, x2, y1, y2)}{1 - B1(x1, x2)}$$

Сила, действующая со стороны основания на шары первого слоя

$$F112(t, I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(x1 \geq x2, F111(t, I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

$$F12(t, I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(y1 > 0, F112(t, I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

Было: сначала $x1 > x2$, затем $x1 > x2$, затем $y1 > 0$

Возмущающая сила, действующая на шары

$$F22(I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(x1 \geq x2, F(I, x1), 0)$$

Было: сначала $x1 > x2$, затем $x1 > x2$, затем $y1 > 0$

$$F2(I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(y1 > 0, F22(I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

$$B1(x1, x2) := \frac{m1}{m1 + m2}$$

$$A1(t, I, x1, x2, y1, y2) := B1(x1, x2) \cdot [F(I, x1) - P1 - P21(x1, x2) - R1 \cdot y1 - q1 \cdot x1 - q2(x1, x2) \cdot (x1 - x2) - R2 \cdot (y1 - y2)]$$

$$A2(t, I, x1, x2, y1, y2) := F2(I, x1, x2, y1, y2) - q2(x1, x2) \cdot (x2 - x1) - R2 \cdot (y2 - y1) - P2 - q33(x1, x2) \cdot x2$$

Сила инерции основания

$$F111(t, I, x1, x2, y1, y2) := \frac{B1(x1, x2) A2(t, I, x1, x2, y1, y2) + A1(t, I, x1, x2, y1, y2)}{1 - B1(x1, x2)}$$

Сила, действующая со стороны основания на шары первого слоя

$$F112(t, I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(x1 \geq x2, F111(t, I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

$$F12(t, I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(y1 > 0, F112(t, I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

Сила, действующая со стороны шаров первого слоя на основание

$$F222(t, I, x1, x2, y1, y2) := F111(t, I, x1, x2, y1, y2) + A2(t, I, x1, x2, y1, y2)$$

$$F221(t, I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(x1 \geq x2, F222(t, I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

$$F21(t, I, x1, x2, y1, y2) := \text{if}(y2 < 0, F221(t, I, x1, x2, y1, y2), 0)$$

Система уравнений

$$Z1(t, I, x1, x2, y1, y2) := \frac{F(I, x1) + F21(t, I, x1, x2, y1, y2) - R1 \cdot y1 - q1 \cdot x1 - P1 - P21(x1, x2) - q2(x1, x2) \cdot (x1 - x2) - R2 \cdot (y1 - y2)}{M12(x1, x2)}$$

$$Z2(t, x1, x2, y1, y2) := y1$$

$$Z3(t, I, x1, x2, y1, y2) := \frac{F2(I, x1, x2, y1, y2) + F12(t, I, x1, x2, y1, y2) - R2 \cdot (y2 - y1) - q2(x1, x2) \cdot (x2 - x1) - P2 - q33(x1, x2) \cdot x2}{m2}$$

$$Z4(t, x1, x2, y1, y2) := y2$$

$$Z5(t, I, x1, y1) := \frac{U(t) - 2I \cdot (P_{\text{сп}} + LL(x1) \cdot y1 + 8MM(x1) \cdot y1)}{2(L(x1) + 8M(x1))}$$

Расчёт коэффициентов методом Рунге-Кутты:

$$k1(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot Z1(t + h, I, x1, x2, y1, y2)$$

$$k1(0, 0, 0, 0, 0, 0) = -2.966 \times 10^{-5}$$

$$b1(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot Z2(t + h, x1, x2, y1, y2)$$

$$b1(0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$s1(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot Z3(t + h, I, x1, x2, y1, y2)$$

$$s1(0, 0, 0, 0, 0, 0) = -9.8 \times 10^{-6}$$

$$c1(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot Z4(t + h, x1, x2, y1, y2)$$

$$c1(0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$o1(t, I, x1, y1) := h \cdot Z5(t, I, x1, y1)$$

$$k2(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z1(t + h, I, x1, x2, y1, y2) + \frac{k1(t, I, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$k2(0, 0, 0, 0, 0, 0) = -2.966 \times 10^{-5}$$

$$b2(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z2(t + h, x1, x2, y1, y2) + \frac{b1(t, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$b2(0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$s2(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z3(t + h, I, x1, x2, y1, y2) + \frac{s1(t, I, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$s2(0, 0, 0, 0, 0, 0) = -9.8 \times 10^{-6}$$

$$c2(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z4(t + h, x1, x2, y1, y2) + \frac{c1(t, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$c2(0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$o2(t, I, x1, y1) := h \cdot \left(Z5(t, I, x1, y1) + \frac{o1(t, I, x1, y1)}{2} \right)$$

$$k3(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z1(t + h, I, x1, x2, y1, y2) + \frac{k2(t, I, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$b3(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z2(t + h, x1, x2, y1, y2) + \frac{b2(t, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$s3(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z3(t + h, I, x1, x2, y1, y2) + \frac{s2(t, I, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$c3(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot \left(Z4(t + h, x1, x2, y1, y2) + \frac{c2(t, x1, x2, y1, y2)}{2} \right)$$

$$o3(t, I, x1, y1) := h \cdot \left(Z5(t, I, x1, y1) + \frac{o2(t, I, x1, y1)}{2} \right)$$

$$k4(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot (Z1(t + h, I, x1, x2, y1, y2) + k3(t, I, x1, x2, y1, y2))$$

$$b4(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot (Z2(t + h, x1, x2, y1, y2) + b3(t, x1, x2, y1, y2))$$

$$s4(t, I, x1, x2, y1, y2) := h \cdot (Z3(t + h, I, x1, x2, y1, y2) + s3(t, I, x1, x2, y1, y2))$$

$$c4(t, x1, x2, y1, y2) := h \cdot (Z4(t + h, x1, x2, y1, y2) + c3(t, x1, x2, y1, y2))$$

$$o4(t, I, x1, y1) := h \cdot (Z5(t, I, x1, y1) + o3(t, I, x1, y1))$$

$$K(t, I, x1, x2, y1, y2) := \frac{k1(t, I, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot k2(t, I, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot k3(t, I, x1, x2, y1, y2) + k4(t, I, x1, x2, y1, y2)}{6}$$

$$K(0, 0, 0, 0, 0, 0) = -2.966 \times 10^{-5}$$

$$B(t, x1, x2, y1, y2) := \frac{b1(t, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot b2(t, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot b3(t, x1, x2, y1, y2) + b4(t, x1, x2, y1, y2)}{6}$$

$$B(0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$D(t, I, x1, x2, y1, y2) := \frac{s1(t, I, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot s2(t, I, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot s3(t, I, x1, x2, y1, y2) + s4(t, I, x1, x2, y1, y2)}{6}$$

$$D(0, 0, 0, 0, 0, 0) = -9.8 \times 10^{-6}$$

$$G(t, x1, x2, y1, y2) := \frac{c1(t, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot c2(t, x1, x2, y1, y2) + 2 \cdot c3(t, x1, x2, y1, y2) + c4(t, x1, x2, y1, y2)}{6}$$

$$G(0, 0, 0, 0, 0) = 0$$

$$O(t, I, x1, y1) := \frac{o1(t, I, x1, y1) + 2 \cdot o2(t, I, x1, y1) + 2 \cdot o3(t, I, x1, y1) + o4(t, I, x1, y1)}{6}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № дил.		Взам инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.	

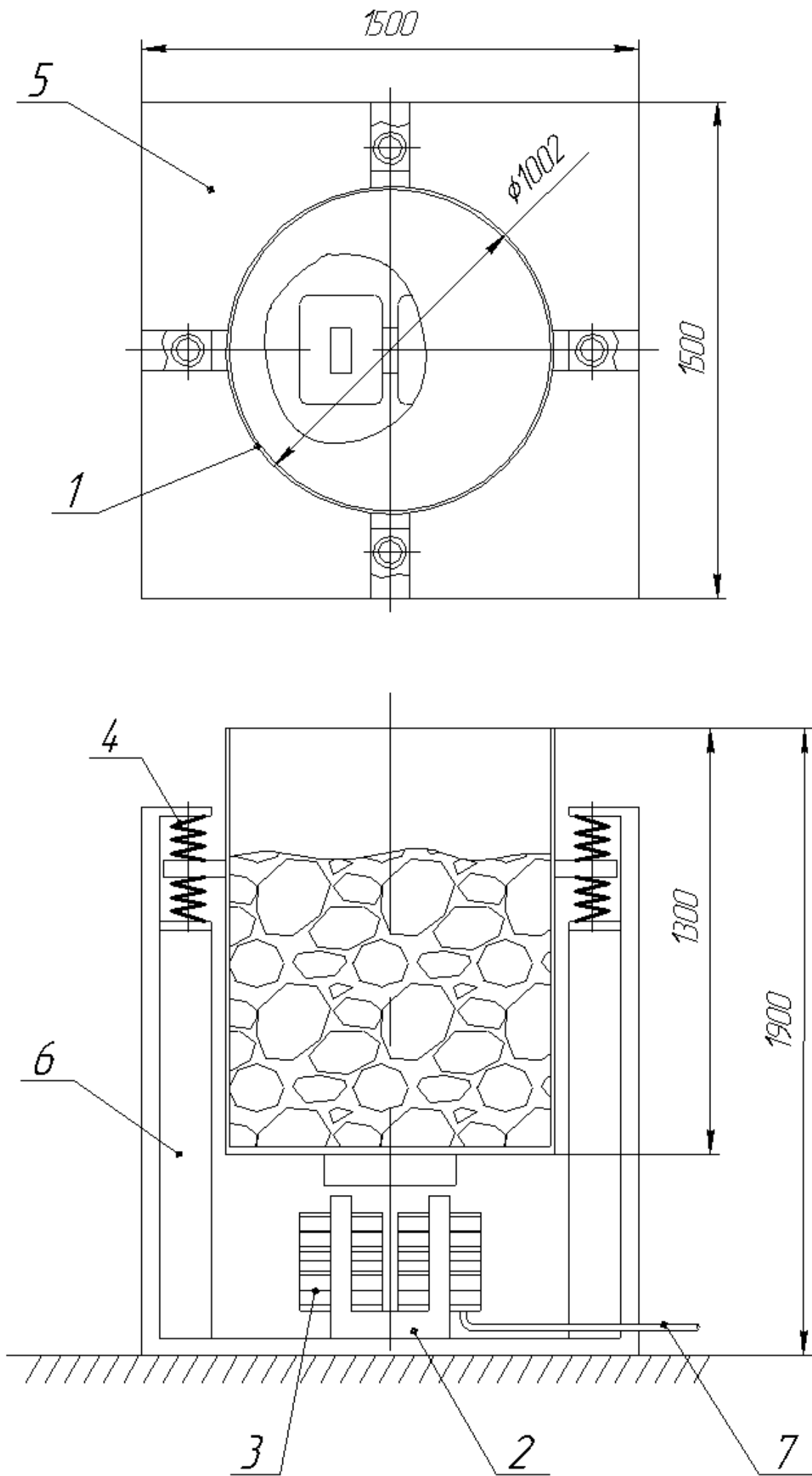
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Эскиз пружины	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Романцов Р.И.						1:1
Проб.		Данекер В.А.						
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.								
Утв.								

Копировал
Формат А4

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Справ. №		Перв. примен.			

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист магнитопровода	Лит	Масса	Масштаб
Разраб.		Романцов Р.И.						1:4
Проб.		Данекер В.А.						
Т.контр.						Лист	Листов	1
Н.контр.								
Утв.								



- 1 – помольная камера
- 2 – магнитопровод
- 3 – катушки (10 шт.)
- 4 – Пружины подвеса
- 5 – основание
- 6 – стойки
- 7 – кабель электропитания

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Романцов Р.И.			
Проб.	Данекер В.А.			
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.				

Общая конструкция ЭШМКТ		Лит.	Масса	Масштаб
				1:15
		Лист	Листов	1

КОМПАС-3D v18.1 учебная версия © 2019 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Справ. №	Перв. примен.

Не для коммерческого использования

Копировал

Формат А3