

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основного теплового оборудования установки получения ферритовых магнитов.

УДК 66.041.49:537622.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Межибор Максим Георгиевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А	К.Т.Н.Доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	К.Э.Н. Доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	К.Т.Н.Доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	к.т.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11 ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22 ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17 ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3,8,9,10,11,12,13), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных

		стандартов EUR-ACE и FEANI
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,10,11,14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течении всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющим разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6,2.3)

Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ан В.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
3-2К22	Межибор Максим Георгиевич

Тема работы:

Разработка основного теплового оборудования установки получения ферритовых магнитов.	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	2840/С от 19.04.2017г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Материалы преддипломной практики: 1) Исходное сырье: $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$. 2) Производительность по исходному сырью 1234кг/ч. 3) Температура отжига 1000°C. 4) Начальная влажность материала 0.5% . 5) Степень заполнения печи 0.1. б) Время протекания процесса 1 ч.</i>
---------------------------------	---

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p><i>Провести литературный обзор с целью выяснения достижений в рассматриваемой области;</i></p> <p><i>Описание аппаратурно-технологической схемы получения ферритовых магнитов по методу порошковой металлургии; Расчет барабанной прокаточной печи; Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; Социальная ответственность.</i></p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p><i>Сборочный чертеж с выносными элементами – 1 лист</i></p> <p><i>Технологическая схема – 1 лист</i></p> <p><i>Экономическая эффективность 1 лист</i></p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Т.Г.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Романцов И.И.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Реферат</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	Балмашнов М.А	К.Т.Н.Доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Межибор Максим Георгиевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
32К22	Межибор Максим Георгиевич

Институт	ИДО	Кафедра	ОХ и ХТ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Машины и аппараты химических производств

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Рабочим местом является, СХК цех по получению ферритовых магнитов. Широко используются ферриты в автоматике, в счетных машинах, в новых системах автоматических телефонных станций, в телевидении и в атомной технике
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>1. Вредные проявления факторов производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – освещение – шумы – вентиляция и отопление – вибрации <p>2. Опасные проявления факторов производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – пожарный взрыв – электрический удар током – движущиеся механизмы – электрический ток
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>- Анализ влияния рассматриваемой технологии на биосферу</p> <p>- Мероприятия по защите окружающей среды</p> <p>- Мероприятия по защите водных объектов</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <p>–</p>	<p>Рассмотреть:</p> <p>- пожар в помещении как основное ЧС</p> <p>- превентивные мероприятия по предотвращению ЧС</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p>	<p>- производственная санитария (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03)</p> <p>- организационные мероприятия по обеспечению электробезопасности</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов И.И.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
32К22	Межибор Максим Георгиевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Межибор Максим Георгиевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

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

1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности установки ферритовых магнитов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Межибор Максим Георгиевич		

Реферат.

В данном дипломном проекте разработана аппаратурно-технологическая схема установки получения ферритовых магнитов.

В аналитическом обзоре рассмотрены свойства и способы изготовления различных магнитов: на основе оксидов железа, бариевые и хромобариевые оксидные ферромагнетики, а также оксидные ферромагнетики на основе свинца.

Для изготовления ферритовых магнитов выбран метод порошковой металлургии.

Подобрана аппаратура автоматики для управления и контролирования технологического процесса.

Выполнены технологический и прочностной расчеты вибрмельницы, а также сделаны материальный, тепловой и конструктивный расчеты барабанной печи отжига.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности. Рассмотрена экологическая безопасность производства.

Проведены основные технико-экономические расчеты установки, а также расчет эффективности инвестиций в данный проект.

Подобрано основное оборудование для монтажа установки.

Сделаны выводы по проделанной работе.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2007, графический материал в Autodesk AutoCAD 2010.

THE ABSTRAKT.

In the given degree project the hardware - technological circuit of installation of reception of ferrite magnets is developed.

In the state-of-the-art review the properties and ways of manufacturing of various magnets are considered: on a basis oxide of iron, bariy and chromobariy oxide ferromanganese, and also oxide ferromanganese on a basis Pb.

For manufacturing ferrite magnets the method powder metal is chosen.

The equipment of automatics for management and monitoring of technological process is picked up.

The accounts of a mill are executed technological and durability, and also the material, thermal and constructive accounts of the drum-type furnace are made.

The questions of protection of work and safety precautions are considered. The ecological safety of manufacture is considered.

The basic technical and economic accounts of installation, and also account of efficiency of the investments in the given project are carried out.

The equipment of basic hardware for installation is picked up

The conclusions on the done work are made.

Exhaust categorization work is executed in text editor Microsoft Word 2007, graphic material in Autodesk AutoCAD 2010.

Содержание

Реферат.....	8
Содержание.....	10
Введение.....	12
1 Литературный обзор.....	14
1.1 Магниты на основе оксидов железа.....	14
1.2 Бариевые оксидные ферромагнетики.....	14
1.3 Свойства оксидных бариевых магнитов.....	21
1.4 Хромобариевые оксидные ферромагнетики.....	26
1.5 Оксидные ферромагнетики на основе ферритов свинца.....	26
2 Описание аппаратурно-технологической схемы получения ферритовых магнитов по методу порошковой металлургии.....	27
3 Расчет барабанной прокалочной печи.....	31
3.1 Исходные данные для расчета.....	31
3.2 Конструкция барабанной печи.....	31
3.3 Материальный расчет.....	32
3.4 Тепловой расчет процесса сушки.....	32
3.5 Конструктивный расчет.....	35
3.6 Прочностной расчет.....	38
3.6.1 Расчет барабана на прочность.....	39
3.6.2 Расчет барабана на жесткость.....	44
3.7 Расчет бандажей барабанной печи.....	45
3.7.1 Определение реакций роликов и их размеров.....	46
3.7.1.1 Определение реакций опорных роликов и их размеров.....	46
3.7.1.2 Определение реакций упорных роликов.....	48
3.7.2 Расчет бандажа и роликов на контактную прочность.....	50
3.7.3 Расчет бандажа на прочность от действия изгибающих моментов.....	53
3.7.4 Свободно надетый бандаж.....	54
3.7.4.1 Свободно надетый бандаж при соприкосновении с корпусом в конечном числе точек.....	54
3.7.5 Определение эквивалентных напряжения в бандаже.....	57
Заключение.....	58
4 Социальная ответственность.....	59
Введение.....	59
4.1. Производственная санитария.....	59
4.1.1 Характеристика применяемых веществ.....	59
4.1.2 Микроклимат производственного помещения.....	60
4.1.3 Освещение.....	61
4.1.4 Вентиляция и отопление.....	92
4.1.5 Шум.....	63
4.1.6 Вибрация.....	63
4.2 Производственная Безопасность.....	65
4.2.1 Безопасность технологического процесса.....	65
4.2.2 Электробезопасность.....	66
4.2.3 Пожаровзрывобезопасность.....	67

4.2.3.1 Категория помещения по пожаровзрывоопасности и класс пожаровзрывоопасных зон.....	67
4.2.3.2 Возможные причины пожаров и взрывов.....	67
4.2.3.3 Мероприятия по предупреждению пожаров и взрывов.....	67
4.3 Охрана окружающей среды.....	68
4.3.1 Анализ влияния рассматриваемой технологии на биосферу.....	68
4.3.2 Мероприятия по защите окружающей среды.....	68
4.3.3 Мероприятия по защите водных объектов.....	69
4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	69
4.4.1 Анализ возможных ЧС природного и техногенного характера.....	69
4.4.2 Мероприятия по предупреждению и устранению последствий ЧС.....	70
5 Организационно – экономический раздел.....	71
5.1 Расчет производственной мощности оборудования цеха.....	71
5.2 Расчет капитальных затрат по проектируемому цеху.....	75
5.2.1 Стоимость строительства здания.....	75
5.2.2 Определение стоимости оборудования.....	75
5.3 Расчет численности промышленно-производственного персонала.....	77
5.4 Расчет фонда заработной платы промышленно-производственного персонала.....	80
5.5 Расчет себестоимости продукции.....	82
5.6 Расчет амортизационных отчислений.....	86
5.7 Расчет сметы расходов по содержанию и эксплуатации оборудования.....	86
5.8 Расчет сметы цеховых расходов.....	87
5.9 Расчет общезаводских и внепроизводственных расходов.....	88
5.10 Проектная калькуляция себестоимости продукции.....	88
5.11 Расчет цен.....	89
5.12 Точка безубыточности.....	90
Расчет технико-экономических показателей.....	91
Выводы.....	92
Литература.....	93

Введение

Магнитными называют материалы технических изделий, эксплуатационные качества которых определяются магнитными свойствами этих материалов. Практическое значение магнитных материалов в современной технике постоянно возрастает. Увеличивается их производство, разрабатываются и находят все большее применение новые виды магнитных материалов.

Постоянные магниты, будучи однажды намагниченными, сохраняют свой магнитный момент в определенных условиях эксплуатации. Изменение магнитного момента может произойти либо в результате воздействия внешнего размагничивающего поля достаточно большой величины, либо в результате нагрева выше определенной температуры, либо в результате химических превращений, в том числе и коррозии. Использование постоянных магнитов вместо электромагнитов позволяет уменьшить энергетические затраты, габариты, инерционность, тепловые потери, расход материалов, упростить конструктивные решения изделий, а также создать в единице объема значительно больший магнитный момент, чем при использовании электромагнитов.

Магнитные материалы делят на магнитомягкие (МММ) и магнитотвердые (МТМ), в зависимости от формы петли гистерезиса (зависимость магнитной индукции от приложенного внешнего магнитного поля). Магнитомягкие материалы имеют низкую коэрцитивную силу, так что намагниченность повторяет изменения приложенного магнитного поля почти без гистерезиса, т.е. – без потерь. Магнитотвердые материалы, наоборот, имеют высокое значение коэрцитивной силы и форма петли должна приближаться к прямоугольной. Магнитотвердые материалы используют для изготовления постоянных магнитов.

Из большого ассортимента магнитотвердых материалов, и соответственно, постоянных магнитов можно выделить три большие группы, разделяющиеся по силе притяжения:

- 1) магниты группы Альнико (ЮНДК);
- 2) оксидные магниты группы ферритов;
- 3) редкоземельные постоянные магниты (РЗПМ).

Из этих трех групп наиболее широкое применение находят ферритовые магниты, из-за хороших магнитных свойств и исключительно низкой цены. Производство ферритовых магнитов с начала XX века постоянно увеличивается. Среднегодовой прирост производства за последнее десятилетие составляет от 10 до 15 %. На 2009 г. объем производства ферритовых магнитов составил 350 тысяч тонн, это 45 % рынка постоянных магнитов.

Как и все постоянные магниты, ферритовые магниты делятся на магнитомягкие и магнитотвердые ферриты.

Магнитомягкие ферриты (ММФ) применяются для сердечников головок магнитофонов (небольших электромагнитов, используемых при записывании и воспроизведении звука), для элементов аппаратуры высокочастотной закалки, для магнитного экранирования, для сердечников магнитных усилителей, для линий задержки, для магнитных порошков при изготовлении ферропластов и ферроэластов.

Широко используются ферриты в автоматике, в счетных машинах, в новых системах автоматических телефонных станций, в телевидении и в атомной технике. В радиолокации и в радиорелейных схемах связи они применяются в качестве основного ферромагнетика сверхвысокочастотного диапазона частот (СВЧ).

Магнитотвердые ферриты (МТФ), хотя и обладают относительно невысокими магнитными параметрами, но из-за исключительно низкой цены нашли себе десятки различных применений в качестве материала для изготовления постоянных магнитов телефонов, репродукторов и измерительных приборов. Но в основном они используются в электродвигателях. Поэтому продолжается рост потребности в ферритах.

МТМ с большой коэрцитивной силой и повышенной магнитной энергией изготавливают в основном из оксидов железа, бария, стронция и кобальта. Наибольшее распространение получили МТМ двух составов: $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ (бариевый феррит или гексаферрит) и CoFe_2O_4 (кобальтовый феррит).

Основной задачей технологии ферритов является создание таких ферромагнитных МТМ, изделия из которых обладали бы определенными заранее заданными и электрическими свойствами. Эту задачу необходимо решать наиболее простыми средствами при минимальных затратах на оборудование, сырье, электроэнергию и рабочую силу и максимальном выходе годных изделий. Для наиболее полного выполнения этих условий, при производстве ферритовых магнитов применяется метод порошковой металлургии.

В данном дипломном проекте разрабатывается установка для получения ферритовых магнитов. При этом используется метод порошковой металлургии, который позволяет решить все основные задачи технологии ферритов с наименьшими материальными и финансовыми затратами.

1 Литературный обзор

1.1 Магниты на основе оксидов железа

Коэрцитивная сила естественных постоянных магнитов, состоящих в основном из оксидов железа, часто превышает сотню эрстед, что больше коэрцитивной силы магнитов из вольфрамовых и хромистых сталей, еще применяемых в настоящее время. Однако по величине магнитной мощности $(BH)_{\max}$ первые из названных магнитов намного уступают всем современным металлическим магнитожестким ферромагнетикам из-за низкой остаточной индукции.

Современные магнитожесткие оксидные ферромагнетики можно разбить на две группы:

а) на основе феррита кобальта CoFe_2O_4 ;

б) на основе ферритов со структурой магнетоплюмбита – гексаферритов бария $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ и свинца $\text{PbO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ и их соединений с другими ферритами.

При сравнении оксидных магнитов с металлическими, например с анко и магнито, необходимо учитывать, что их остаточная индукция ниже, а коэрцитивная сила выше, чем у последних. В связи с этим оптимальная форма у оксидных магнитов иная, чем у названных выше металлических магнитов. Оксидные магниты выполняются в виде пластин, брусков, колец, у которых площадь поперечного сечения больше, а длина в направлении магнитного потока меньше, чем у металлических магнитов.

1.2 Бариевые оксидные ферромагнетики

Феррит бария $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ имеет гексагональную кристаллическую решетку типа магнетоплюмбита и представляет собой один из наиболее распространенных оксидных магнитожестких ферромагнетиков, известный в литературе под названием ферроксиюдр, магнадюр, коэрокс и др.

Существуют две модификации оксидных бариевых ферромагнетиков: а) нетекстурированные, макроскопически изотропные, сокращенно обозначаемые буквами МБИ, и б) текстурированные, макроскопически анизотропные, обозначаемые буквами МБА.

Исходными веществами для изготовления феррита бария являются оксиды бария и оксиды железа. Довольно распространенным является способ составления шихты методом смешения оксида железа и какого-либо соли бария, в качестве которой может быть использована азотнокислая $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ или углекислая BaCO_3 соли. При изготовлении этих магнитов могут быть применены как чистые, так и технические исходные материалы. В последнем случае лучшие свойства обеспечивают составы с небольшим избытком оксида бария по сравнению со стехиометрическим ферритом. Чаще всего бариевые магниты изготавливаются из шихт, содержащих около 15 мас. % BaO и 85 мас. % Fe_2O_3 .

Для получения феррита, точно заданного состава шихту оставляют часто с учетом имеющихся примесей в исходных веществах и намолотом железа от мельницы и другой аппаратуры, применяемой для смешивания и размельчения. По данным Н. Н. Шольц и К. А. Пискарева [6], отклонение от заданного состава по окиси железа не должно превышать $\pm 0,2$ мол. %.

Более поздние исследования Н. Н. Шольц и Л. Я. Щепкиной [49] показали, что шихта должна соответствовать по составу формуле $BaO \cdot 6Fe_2O_3$ лишь тогда, когда исходные материалы свободны от примесей. Если же в исходных оксидах или солях имеются посторонние примеси, то оптимальные свойства могут быть получены у составов, отличающихся по шихте от стехиометрического.

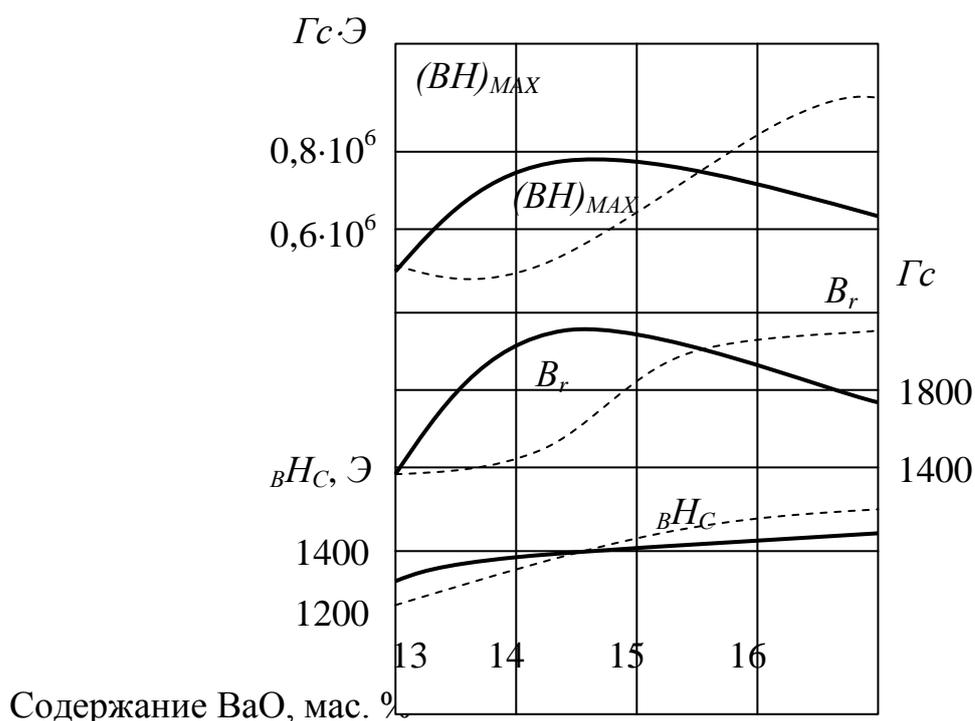


Рисунок 1 – Зависимость основных параметров оксидных параметров бариевых ферромагнетиков от содержания оксидов бария в шихте при использовании оксида железа, содержащего 99,2 % Fe_2O_3 (сплошные линии) и технического оксида железа, содержащего 98,0% Fe_2O_3 (пунктирные линии); температура спекания 1220 °С.

На рисунке 1 приведены основные характеристики бариевых магнитов в зависимости от содержания оксида бария при использовании оксида железа, содержащего 98 % Fe_2O_3 , и технической окиси железа, содержащей 98 % Fe_2O_3 . Кривые показывают, что в обеих сериях ферритов оптимальные свойства имеются у составов с большим содержанием оксида бария, чем это соответствует стехиометрическому ферриту бария, причем для составов, изготовленных на более чистого оксида железа, это отклонение от стехиометрии значительно меньше, чем для составов, изготовленных из технического оксида. Причину этого авторы цитируемой работы усматривают в том, что некоторые примеси, и в том числе сера, которой значительно больше в техническом оксиде железа, связывают часть оксида бария, образуя при спекании стойкое соединение $BaSO_4$ еще до того,

как начал образовываться феррит бария, что качественно подтверждается результатами рентгеновских исследований. Линии $BaSO_4$ наблюдались для образцов, спеченных при $700\text{ }^{\circ}C$, тогда как ферритизация начинается при более высокой температуре, близкой к $800\text{ }^{\circ}C$.

В техническом оксиде железа, использованной в описываемых опытах, содержалось около 0,47 %, а в расчете на всю шихту около 0,4 % серы, что связывает в сернокислый барий около 2 % Ва. Сернокислый барий в количестве до нескольких процентов не оказывает заметного влияния на свойства бариевых ферритов. Поэтому, используя шихту с несколько большим по сравнению со стехиометрическим количеством оксида бария, можно на техническом оксиде железа получить оксидные бариевые магниты довольно высокого качества.

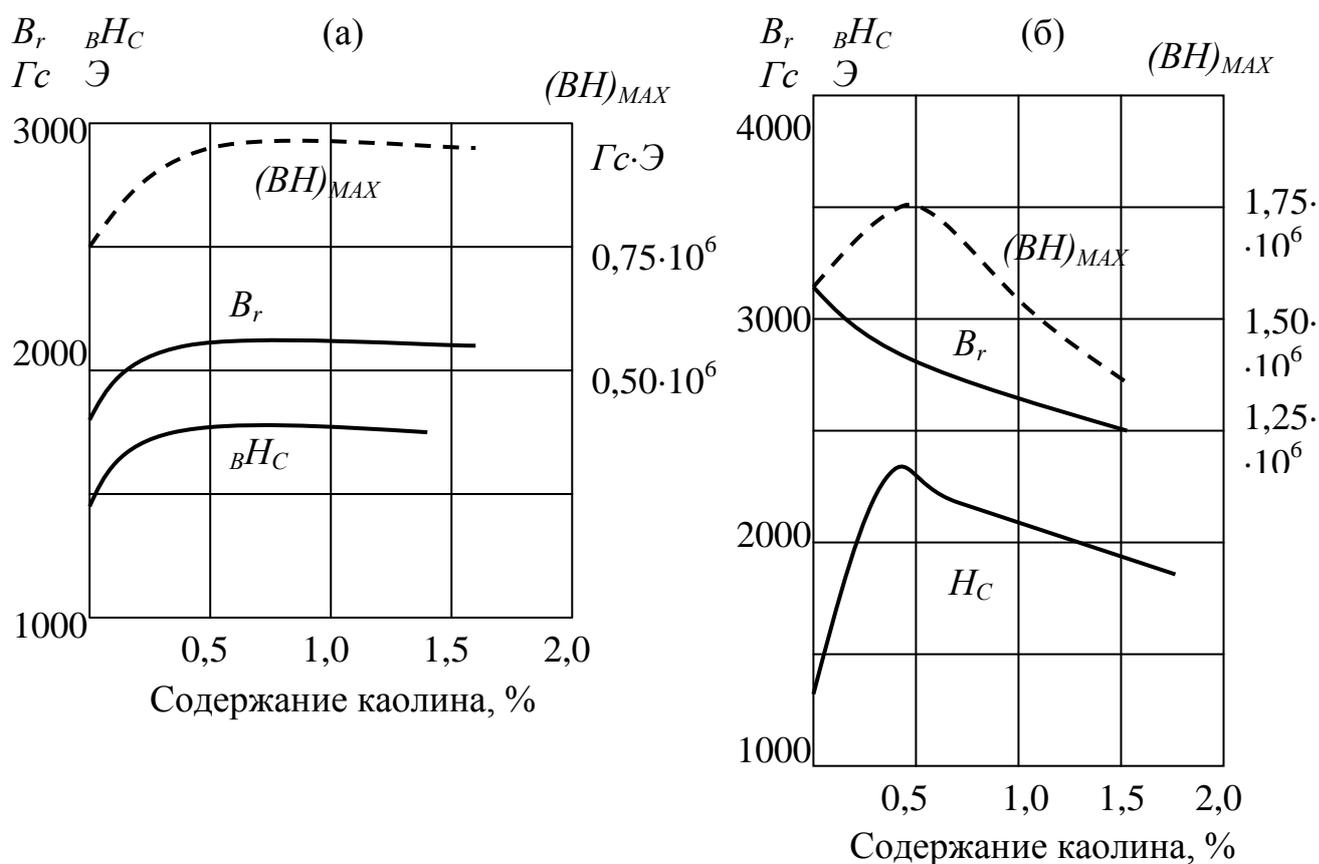


Рисунок 2 – Влияние присадки каолина на свойства оксидных бариевых изотропных (а) и анизотропных (б) магнитов при температуре спекания $1200\text{ }^{\circ}C$

В бариевые магниты как текстурированные, так и нетекстурированные, целесообразно вводить в небольших количествах каолин (от 0,5 до 1,5 %) или другие вещества, способствующие повышению коэрцитивной силы. Влияние примеси каолина на свойства изотропных и анизотропных бариевых оксидных магнитов приведено на рисунке 2. По мнению Н. Н. Шольц и Л. Я. Щепкиной [49], благоприятное влияние каолина связано с тем, что входящая в его состав оксид кремния образует с оксидом бария легкоплавкую эвтектику (подобной эвтектике в гексаферрите свинца [29]), которая обволакивает зерна, препятствуя их росту и способствуя увеличению плотности, коэрцитивной силы и магнитной мощности.

При составлении шихты исходные оксиды и оксиды соли перемешивают в шаровой мельнице. Смесь брикетируют, и полученные брикеты прокаливают в течение нескольких часов в температурном интервале от 1000 до 1300 °С. Шихту необходимо размалывать в порошок с частицами размером от одного до нескольких микронов.

В качестве пластификатора при изготовлении изотропных магнитов можно применять те же вещества, что и при изготовлении магнитомягких ферритов. Предпочтение здесь также можно отдать поливинилового спирту. Давление прессования составляет 1–2 Т/см². При конструировании пресс-форм для того или иного изделия необходимо учитывать усадочный коэффициент этих ферромагнетиков, равный $1,1 \pm 0,02$.

Авторы работы [49] приводят описание разработанного ими и нашедшего широкое применение способа изготовления оксидных бариевых магнитов. Исходными веществами являются оксид железа и углекислый барий. Смесь порошков брикетируют и подвергают в течение нескольких часов спеканию при температуре, равной 1300 °С, с последующей закалкой в воде. Брикеты размалывают сначала в шаровой мельнице, дающей сравнительно грубый, а затем в вибрационной мельнице, дающей более тонкий порошок с частицами размером 1–2 мкм, из которого после смешения с пластификатором прессуют изделия нужной формы и размеров. Изотропные магниты прессуют в обычных, принятых при производстве других ферритов прессформах, анизотропные – в прессформах, снабженных приспособлением в виде намагничивающего устройства. Последнее служит для того, чтобы частицы прессуемого порошка, представляющие собой магнитные диполи, ориентировались в направлении действующего при прессовании поля.

Порошок для изготовления анизотропных магнитов подвергается дополнительному помолу с водой с целью дальнейшего уменьшения размеров частиц и сглаживания их поверхности. Получаемая после этого паста с 30–40 % воды (по весу) представляет собой сметаноподобную суспензию красновато-коричневого цвета. Дозу ее, необходимую для загрузки пресс-формы, можно определять как по весу, так и по объему. В обоих случаях перед дозировкой пасту необходимо тщательно перемешать, так как она довольно быстро расслаивается. Излишняя вода выдавливается при прессовании либо через щели пресс-формы, либо через специальные фильтры из пористой ткани или фетра, помещаемые между порошком и пуансонами. Последние перфорируют, чтобы обеспечить удаление воды, выдавливаемой через фильтры. Для ускорения процесса удаления воды из пресс-формы иногда применяют вакуум-насосы.

Намагничивающее устройство пресс-формы для формирования анизотропных магнитов имеет катушку (иногда с сердечником), через обмотку которой во время прессования пропускают постоянный электрический ток. Верхний и нижний пуансоны, изготавливаемые из магнитной стали, образуют вместе с прессуемым порошком и сердечником электромагнита магнитную цепь. Матрицы пресс-формы выполняются из неферромагнитной стали. Напряженность поля в начале прессования должна быть не менее 3000 Э. По мере прессования и уменьшения расстояния между пуансонами магнитное сопротивление цепи уменьшается, в

результате чего увеличивается также напряженность поля, которая в некоторых установках может достигнуть 14000 э.

Бариевые магниты обжигают при температуре около 1200 °С в течение 3 ч, после чего их медленно охлаждают вместе с печью. Температура и длительность обжига весьма существенно влияют на свойства этих магнитов. С повышением температуры обжига возрастает остаточная индукция и падает коэрцитивная сила. Магниты из разных партий в зависимости от дисперсности входящих в шихту порошков, их активности и «предыстории» требуют различной температуры спекания для получения одинаковых магнитных параметров. Поэтому при производстве бариевых магнитов как текстурированных, так и нетекстурированных, необходимо предварительно установить температуру спекания на основании испытания магнитных свойств пробных образцов, обожженных при двух-трех различных температурах, близких к 1200 °С. Температура обжига должна выдерживаться с точностью до ±10 °С. Влияние температуры спекания на свойства изотропных и анизотропных бариевых магнитов стехиометрического состава показано на рисунке 3 [29].

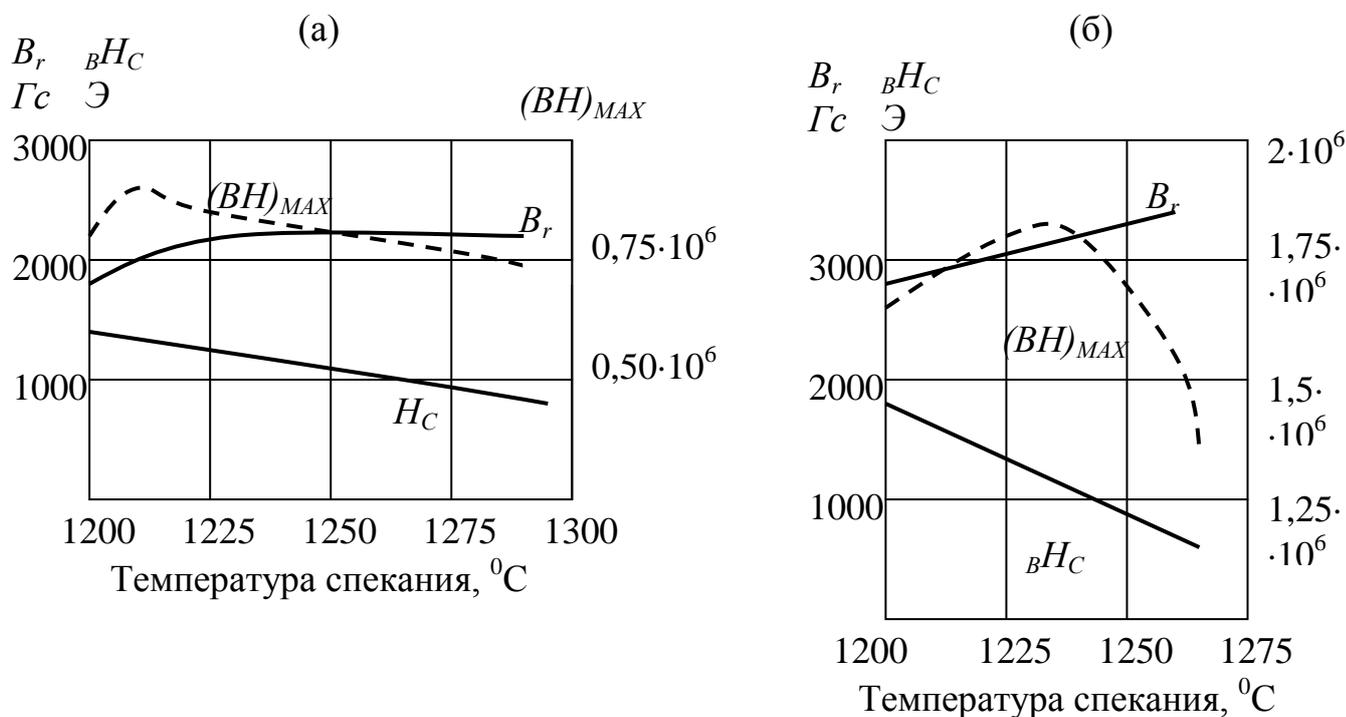


Рисунок 3 – Влияние температуры спекания на свойства оксидных бариевых изотропных (а) и анизотропных (б) магнитов

С увеличением температуры спекания плотность этих ферромагнетиков, так же как и их остаточная индукция, увеличивается. Во избежание растрескивания магнитов их не рекомендуется вынимать из печи при температуре выше 300 °С.

Исследование [38] показало, что зависимость коэрцитивной силы бариевых ферритов от температуры спекания при выдержке в течение одного часа имеет максимум, который определяется степенью измельчения порошка. Так, образцы

из порошка, в котором преобладали (в весовом отношении) частицы с поперечником, близким к 13 мкм (продолжительность измельчения в шаровой мельнице 23 ч), подвергавшиеся спеканию при 1000 °С в течение 1 ч, имели $jH_c \approx 1600$ э, тогда как образцы из порошка с частицами около 5 мкм (продолжительность измельчения в шаровой мельнице 142 ч), подвергавшиеся спеканию при 1300–1350 °С, дали низкое значение jH_c , близкое к 500–1000 Э и притом мало зависящие от степени измельчения порошка.

Я. С. Шур и Г. С. Кандурова [9] исследовали свойства анизотропных бариевых ферритов стехиометрического состава в зависимости от температуры и времени спекания. Измерения производились на дисках диаметром 6 мм и высотой 1 мм с осью текстуры, направленной параллельно их плоскости.

Коэрцитивная сила jH_c и относительная остаточная намагниченность I_r/I_s этих дисков как вдоль оси текстуры (индекс 0°), так и в перпендикулярном направлении (индекс 90°) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – коэрцитивная сила и относительная остаточная намагниченность анизотропных бариевых ферритов в зависимости от условий спекания

Номер образца	Условия спекания		$jH^{0^\circ}_c$ Э	$jH^{90^\circ}_c$ Э	$\left(\frac{I_r}{I_s}\right)^{0^\circ}$	$\left(\frac{I_r}{I_s}\right)^{90^\circ}$
	Температура, °С	Продолжительность, ч				
1	1200			1900	0,76	0,29
2	1200–1270			1150	0,72	0,23
3	1200–1300		3	700	0,60	0,15
4	1200–1300		1	300	0,52	0,10
5	1200–1300		2	40	0,17	0,04
6	1400		3	10	0,06	0,02

Из таблицы можно сделать вывод, что образцы с большой коэрцитивной силой обладают и большой относительной остаточной намагниченностью. Анизотропия магнитных свойств этих ферритов значительна как у образцов, подвергнутых обжигу при высокой температуре, так и у образцов с большой коэрцитивной силой, обожженных при более низкой температуре.

Зависимость jH_c и I_r/I_s от угла φ между осью текстуры и направлением внешнего магнитного поля для образцов, приведенных в таблице 1, дана на рисунке 4.

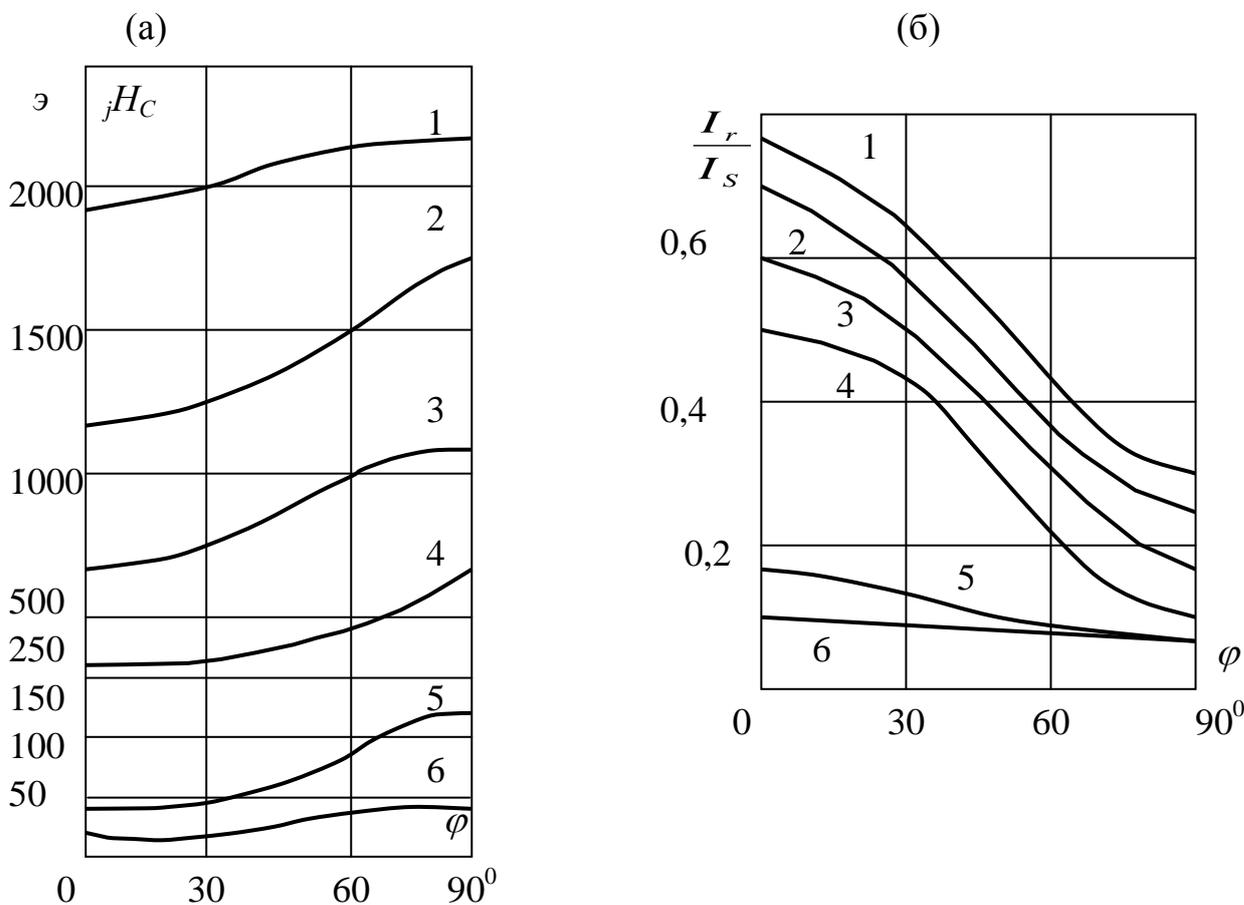


Рисунок 4 – Анизотропия jH_c (а) I_r/I_s (б) в текстурированных дисках бариевых ферритов

Для намагничивания оксидных бариевых магнитов требуются довольно мощные электромагниты. Принято считать, что высококоэрцитивные ферромагнетики нужно помещать для намагничивания в поле, напряженность которого в 4–6 раз больше их коэрцитивной силы. Намагничивание в более слабых полях, например в полях, напряженность которых может привести к понижению мощности на 10–15 % против обеспечиваемой намагничиванием в поле, равном $5H_c$. Магниты, предназначенные для применения в устройствах, где значение индукции не должно изменяться в процессе работы, подвергаются магнитной стабилизации, заключающейся в частичном их размагничивании. Наконец, температурная стабилизация многих магнитов обеспечивается воздействием низких температур, о чем более подробно будет сказано в дальнейшем.

1.3 Свойства оксидных бариевых магнитов

Оксидные бариевые магниты представляют собой поликристаллические вещества, темно-серого цвета, с кристаллитами, имеющими линейные размеры в несколько микронов. Рентгеновская плотность феррита бария $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ равна по данным Вента и др. [5], $5,3 \text{ г/см}^3$, тогда как плотность, определенная на поликристаллических магнитах, составляет около 5 г/см^3 .

Изолированные частицы бариевых оксидных ферромагнетиков, имеющие в диаметре в $1,3 \text{ мкм}$, представляют собой однодоменные тела, расчетная величина коэрцитивной силы которых равна 16000 Э . При образовании из таких частиц поликристаллического тела теоретическая величина коэрцитивной силы уменьшается примерно до 8000 Э . Достигнутая на практике коэрцитивная сила таких соединений имеет значительно меньшую величину и пока не перешагнула за 4000 Э для лабораторных образцов, тогда как при производстве таких магнитов удается получить коэрцитивную силу по намагниченности ${}_j H_c \approx 3000 \div 3500 \text{ Э}$, что соответствует коэрцитивной силе по индукции ${}_B H_c \approx 2000 \div 2500 \text{ Э}$.

Сикстус и др. [9] обнаружили, что частицы порошка бариевых магнитов, поперечник которых больше 5 мкм , представляют собой чешуйки. Спеченные бариевые ферриты также состоят из зерен в виде плоских чешуек. У образцов стехиометрического состава, синтезированных на воздухе при $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 1 ч , толщина чешуек составляет около 10 мкм , а диаметр равен приблизительно 50 мкм .

Брокман, Бек и Стенек установили связь между средним геометрическим диаметром частицы и коэрцитивной силой.

Расхождение кривых для бариевых ферритов, по данным разных авторов, особенно значительное для образцов, состоящих из крупных зерен, объясняется частично тем, что в опытах Брокмана и др. измерялись средние размеры частиц, тогда как Сикстус с сотрудниками измеряли или их среднюю толщину или их средний диаметр.

Коэрцитивная сила у текстурированных бариевых магнитов несколько меньше, чем у нетекстурированных. Это различие, определяемое коэффициентом

$$\eta = \frac{{}_j H_c \text{ нетекстур}}{{}_j H_c \text{ текстур}},$$

может достигнуть, по данным Сикстуса и др., $1,19$ для образцов непосредственно после прессования, тогда как после обжига при $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ этот коэффициент падает до $1,03$.

Порошковые фигуры на поверхности бариевых оксидных магнитов имеют сложный узор, различный на лицевой и боковой гранях зерен. На лицевой стороне зерен наблюдаются волнообразные линии, а на боковых гранях текстурированных образцов – длинные параллельные линии, пересекающие иногда границы зерен. Исследование порошковых фигур на поверхности бариевых магнитов, как и определение ряда других их свойств, привели к выводу, что в кристаллитах,

толщина которых превышает 10 мкм, доминирующую роль в намагничивании играет процесс смещения. С уменьшением толщины кристаллитов все более и более значительную роль начинает играть процесс вращения, и коэрцитивная сила повышается до 2000 Э и более. Наблюдавшиеся Сикстусом и др. [9] в сильных полях скачкообразные смещения отдельных участков порошковых фигур объяснены перемагничиванием ряда отдельных зерен в результате процесса смещения.

Подробное исследование динамики намагничивания бариевых оксидных магнитов, проведенное Я. С. Шуром и Г. С. Кандауровой, опубликовано в уже цитированной работе [33]. Авторы этой работы наблюдали при помощи порошковых фигур доменную структуру в плоскости, параллельной оси легкого намагничивания дисков, магнитные свойства которых приведены в таблице 1. В пределах каждого кристаллита наблюдалось при этом 180-градусное соседство доменов. Граничные слои между доменами пересекают границы между кристаллитами; последние, следовательно, не изолированы в магнитном отношении. В бариевых ферритах высокое значение коэрцитивной силы является в значительной степени результатом того, что образующиеся в них неоднородности создают большие препятствия смещению граничных слоев [33].

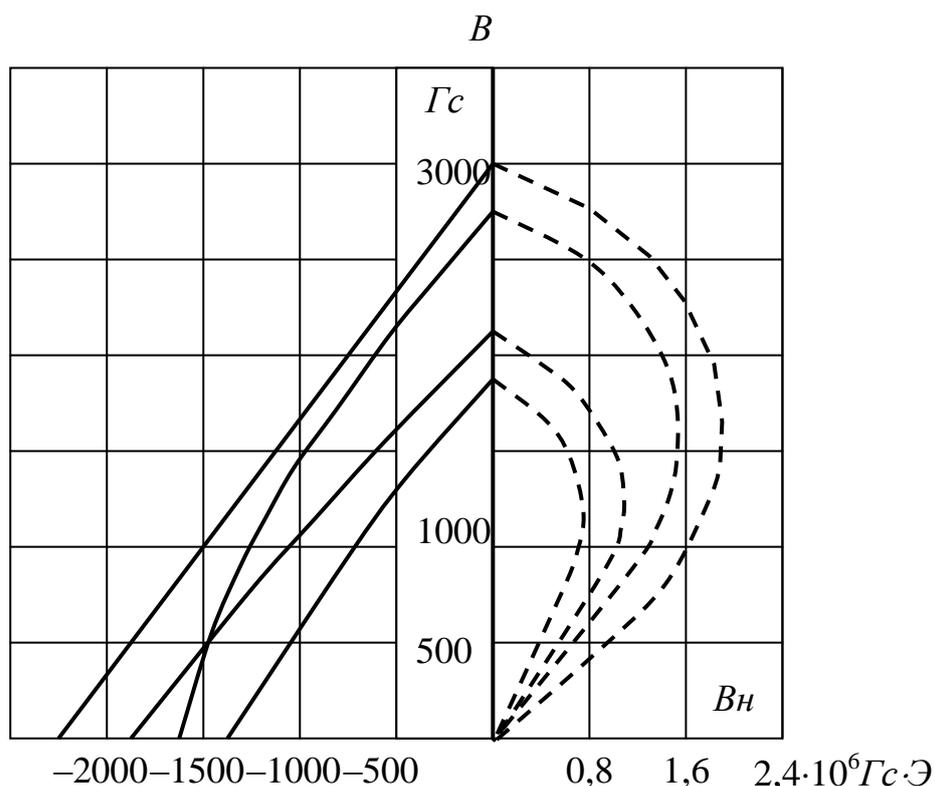
Основные свойства оксидных бариевых магнитов, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в таблице 2 [31]. Из нее следует, что у изотопных бариевых магнитов энергия имеет примерно такую же величину, как у металлических магнитов, отлитых из никельалюминиевых сталей, тогда как анизотропные бариевые магниты по мощности на единицу объема соответствуют магнитам из никелькобальтальюминиевых сталей, более дорогих, поскольку в их состав входит дорогостоящий кобальт. Изготавливаемые по более сложному технологическому процессу анизотропные бариевые магниты дороже изотропных и применяются в аппаратуре, где к магнитам предъявляются более жесткие требования.

Таблица 2 – Магнитные свойства оксидных бариевых магнитов

Параметр	Изотропные магниты МБИ		Анизотропные магниты МБА		
	I	II	I	II	III
Остаточная индукция $B_r, Гс$	1800–2000	2100–2300	2700–	2800–	3500–
Коэрцитивная сила по индукции $B_{H_c}, Э.....$	1400–1600	1700–1900	2900	3000	4000
Максимальная мощность $(BH)_{max}, Гс·Э.....$	0,7–0,8	0,9–1,1	1300–	1900–	1800–
Индукция в рабочей точке $B_d, Гс.....$	1600	1600	1,5–2,0	1,7–2,0	3,0–3,7
Напряженность поля в рабочей точке $H_d, Э.....$	1000	1100	1600	1600	2000
Температурный коэф- фициент остаточной индукции $\beta_{Br}.....$	800	1000	1000	1250	1800
Изменение индукции после охлаждения, до $-70^{\circ}C$ ($l: d \sim 1$), $\Delta B_d/B_d, \%.....$	-0,002	-0,002	-0,003	-0,002	–
Удельное электрическое сопротивление $\rho, Ом·см..$	20	5	40	8	–
Температура Кюри $\theta, ^{\circ}C....$	10^8-10^9	10^5-10^6	10^8-10^9	10^5-10^6	–
	450	450	450	450	–

Характеристики оксидных бариевых магнитов приведены на рисунке 5. На этом же графике даны характеристики бариевых оксидных магнитов с примесью каолина, которые весьма наглядно иллюстрируют благоприятное влияние последнего свойства рассматриваемых ферромагнетиков, заключающееся в увеличении коэрцитивной силы, остаточной индукции и произведения $(BH)_{max}$.

У магнитных материалов, предназначенных для изготовления постоянных магнитов, необходимо различать два вида нестабильности: структурную и магнитную. Структурная нестабильность обуславливается, во-первых, изменением структуры ферромагнетика в результате химических процессов между компонентами и рассасывания внутренних напряжений и, во-вторых, воздействием внешней атмосферы. Структурному старению подвержены ферромагнетики как в намагниченном, так и в ненамагниченном состоянии. Второй вид нестабильности, которого здесь следует коснуться, это – магнитная нестабильность. Под ней понимают изменение параметров намагниченного магнита во времени, вызываемое встряхиванием, изменением температуры и т. д.



1 – МБИ; 2 – то же, с присадкой каолина;
 3 – МБА; 4 – то же с присадкой каолина.

Рисунок 5 – Кривые размагничивания и энергия магнитов

Оксидные бариевые магниты достаточно стабильны в структурном отношении, но не при изменении температуры. Так, охлаждение вызывает значительные и притом необратимые изменения индукции. Происходит это вследствие уменьшения коэрцитивной силы при понижении температуры, что под влиянием размагничивающего действия плюсов уменьшает магнитный поток. При последующем нагреве до комнатной температуры коэрцитивная сила возрастает; однако магнитный поток уже не может восстановиться до первоначальной величины, и только дополнительное намагничивание может привести магнит в первоначальное состояние. Необратимое изменение намагниченности происходит только после первого охлаждения. Последующие охлаждения (если магнит не намагничивать повторно) не приводят к необратимым изменениям намагниченности, и магнитный поток, который остался после первого охлаждения до определенной температуры t_1 , сохраняется в нем при сколь угодно большом числе охлаждений до этой температуры t_1 . Однако если магнит охладить ниже t_1 , то его намагниченность может еще уменьшиться. Чем больше коэрцитивная сила бариевых магнитов, тем меньше охлаждение уменьшает их магнитный поток. Чтобы стабилизировать эти магниты, их охлаждают до -70 ± -80 °С. При этом их магнитная энергия уменьшается так же, как рабочая индукция. Однако последующие циклы охлаждения до любых

температур не ниже -70°C и нагрева до комнатной температуры не оказывают влияния на свойства этих ферритов (рисунок 6).

Коэрцитивная сила бариевых ферритов с добавкой каолина выше, чем без каолина. Поэтому такие магниты меньше изменяют свой магнитный поток после охлаждения (рисунок 5), чем бариевые магниты без этой примеси.

Как следует из таблицы 2, удельное электрическое сопротивление у бариевых ферритов находится в пределах 10^5 – 10^9 Ом·см и в миллиарды раз больше, чем у металлических постоянных магнитов. Высокое электрическое сопротивление бариевых магнитов, как впрочем, и магнитов из всех других неметаллических ферромагнетиков, благоприятствует использованию их в полях высокой частоты, например для создания постоянной составляющей магнитного поля в электромеханических фильтрах, или в магнитных вариометрах, настройка индуктивности которых осуществляется приближением или удалением постоянного магнита к магнитомягкому сердечнику с целью изменения его пульсационной проницаемости. В обоих случаях постоянный магнит находится в переменном поле высокой частоты.

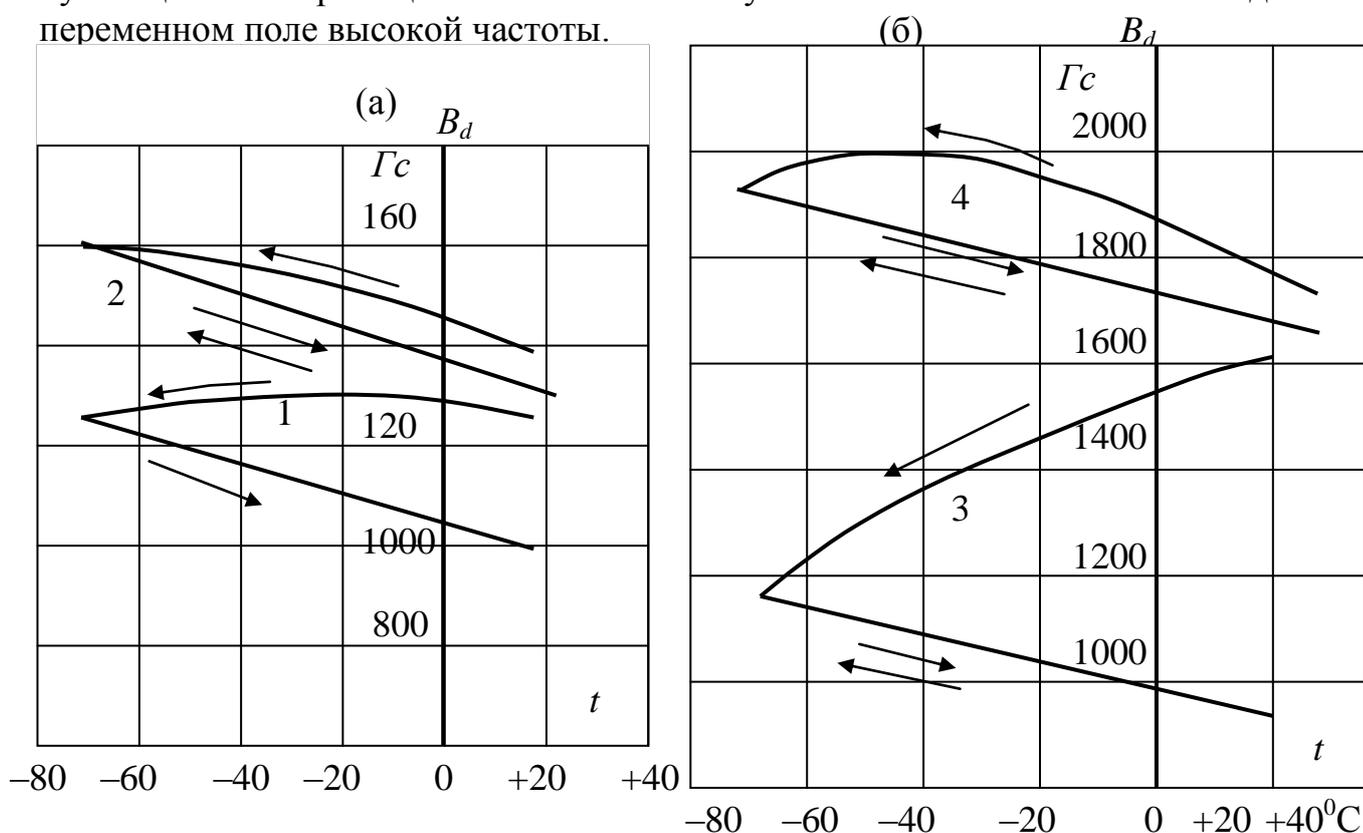


Рисунок 6 – Температурная зависимость индукции в разомкнутой цепи для магнитов МБИ (а) и МБА (б). Отношение $l : d=1$

Пояснения к рисунку 6 приведены в таблице 3.

Номер кривой	Магнит	$B_r, \text{Гс}$	$H_c, \text{Э}$	$(BH)_{max}, \text{Гс} \cdot \text{Э} \cdot 10^{-6}$
1	МБИ.....	2000	1400	0,8
2	МБИ с присадкой каолина....	2250	1900	1,1
3	МБА.....	2700	1370	1,3
4	МБА с присадкой каолина....	2900	2000	1,8

1.4 Хромобариевые оксидные ферромагнетики

Было сделано немало попыток, улучшить свойства оксидных бариевых магнитов путем введения в них тех или иных примесей. Рассмотрим для примера предложение С. А. Медведева [5] использовать в этих целях оксид хрома. Как указывает автор, особенностью ферритхромитов бария является нечувствительность к температуре и длительности обжига. Замена части ионов железа ионами хрома приводит к некоторому снижению индукции насыщения и точки Кюри этих ферромагнетиков.

Свойства магнитов из анизотропных ферритхромитов бария, обозначенных сокращенно ФХБ, даны ниже: плотность $d=4,8\div 4,9 \text{ г/см}^3$; удельное электрическое сопротивление $\rho=10^6 \text{ Ом}\cdot\text{см}$;

остаточная магнитная индукция $B_i=4\cdot\pi\cdot I_r=3000\div 3400 \text{ Гс}$; коэрцитивная сила намагниченности $jH_C=2100\div 2500 \text{ Э}$; $(BH)_{\text{MAX}}=2,2\div 2,8\cdot 10^6 \text{ Гс}\cdot\text{Э}$; индукция в рабочей точке $B_d=1400\div 1800 \text{ Гс}$; напряженность поля в рабочей точке $H_d=1400\div 1700 \text{ Э}$; магнитная проницаемость $\mu_d=1,1\div 1,2 \text{ Гс/Э}$; точка Кюри $\theta=405 \text{ }^\circ\text{C}$.

Как указывает автор цитируемой работы, воздействие размагничивающих полей напряженностью 5000–6000 Э в направлении, перпендикулярном оси намагниченного магнита, не изменяет сколько-нибудь заметно их намагниченности.

Температурный коэффициент индукции у этих магнитов такого же порядка, как и у нелегированных бариевых магнитов, т. е.: $\beta_{Br}\approx -2\cdot 10^{-3}\cdot \text{град}^{-1}$.

1.5 Оксидные ферромагнетики на основе ферритов свинца

Исследование магнитных свойств ряда соединений, полученных при спекании смеси оксида свинца с оксидом железа, показали [29], что среди них имеется значительная область высококоэрцитивных ферромагнетиков, пригодных для изготовления постоянных магнитов. Процесс изготовления бариевых магнитов и сводится к смешению тонкодисперсных окислов PbO и Fe₂O₃ со связующим веществом изготовлению из этой смеси таблеток, нагреву их до 400 °С для удаления связующего вещества и последующему предварительному обжигу. Контрольные взвешивания показали, что оксид свинца слегка улетучивается уже при температурах ниже 900 °С, а при более высокой температуре потери PbO значительно увеличиваются, достигая нескольких процентов при 1200 °С и около 10 % при 1280 °С. Магниты на основе гексаферрита свинца, синтезированные при 950 °С, могут иметь энергию $(BH)=300\ 000 \text{ Гс}$.

Павлек и Рейхель [29] показали также, что добавка окиси кремния (до 1 мол.%) к указанным ферритам может увеличить магнитную мощность изготовленных из них магнитов до $1,2 \cdot 10^6$ Гс·Э при $B_r=2450$ Гс.

Сравнение магнитов на основе окиси свинца с магнитами на основе окиси бария показывает, что к достоинствам первых следует отнести простоту технологического процесса производства и более низкую температуру спекания. Основной их недостаток связан с токсичностью соединений свинца, которая делает процесс их изготовления вредным.

2 Описание аппаратурно-технологической схемы получения ферритовых магнитов по методу порошковой металлургии

Выбор метода изготовления МТМ определяется как экономической целесообразностью, так и неоспоримыми преимуществами порошковой металлургии, которые сводятся к следующему. Во-первых, монтаж материала из отдельных макрочастиц делает возможной их укладку в определенном порядке, с определенной ориентацией кристаллографических осей, направлений легкого намагничивания, то есть значительно расширяются возможности создания магнитной анизотропии. Это является решающим фактором при получении МТМ, так как высококоэрцитивное состояние целиком обусловлено магнитной анизотропией, которую создают ориентацией анизотропных по свойствам или по форме частиц при прессовании в магнитном поле, прокатке и другими методами. Во-вторых, исключение переплава расширяет возможности управления составом и структурой МТМ посредством формирования и термической обработки. При этом можно легко управлять распределением ЛК, размерами и формой зерен, их ориентацией и т.д.

Массовый характер производства магнитотвердых ферритов по методу порошковой металлургии обусловил разделение технологического процесса на две стадии: получение порошков и изготовление магнитов, – каждую из которых осуществляют на отдельных предприятиях. МТ ферритовые порошки получают из окарины (отходов прокатного производства) или оксидов железа заданной чистоты, углекислого бария или стронция и добавок, содержащих в частности, оксиды РЗМ, которые улучшают спекание порошка и способствуют сохранению однородной мелкозернистой структуры. Порошки предназначены не только для изготовления из них магнитов, но и для использования как наполнителей в магнитопластах и магнитоэластах.

Легирующие компоненты применяют в виде оксидов. Схема технологического процесса изготовления постоянных магнитов из феррита бария приведена на рисунке. Шихтовые компоненты, и часть легирующих добавок содержащие около 15 мас. % ВаО и 85 мас. % Fe_2O_3 смешивают в вибромельнице 2, и подвергают ферритизации, т. е. отжигу во вращающейся печи 4, в воздушной атмосфере при температуре 1000 °С. Время отжига 24 ч. После ферритизации шихты производят ее грубый и тонкий помол в вибромельнице с молотом 5 и вибрационной мельнице 6. Оставшиеся легирующие добавки, в том числе каолин

(от 0,5 до 1,5 %), вводят при тонком помоле, который завершают при достижении частицами размеров доменов, т.е. 0,3 – 0,7 мкм. Размер частиц существенно влияет на магнитные свойства и кинетику последнего спекания. Недостаточный помол не позволяет получить необходимую коэрцитивную силу, перемол усложняет формование и кинетику спекания материалов.

Формование брикетов изотропных марок ферритовых магнитов аналогично формованию магнитомягких ферритов. Разработаны два способа формования: влажное и сухое. При влажном прессовании порошок смешивают с водой или водным раствором поливинилового спирта (применяют также и другие связки), подсушивают в туннельной сушилке 7, гранулируют протиркой через механические сита 8, затем прессуют на гидравлическом автоматическом прессе 9 с объемной дозировкой водной суспензии порошка в прессформу. При получении анизотропных ферритовых магнитов водную суспензию порошка в воде формируют, как правило, без связки, причем водную суспензию порошка предварительно отстаивают до сметанообразной консистенции (28–35 % влажности по массе). Такую прессмассу через объемный дозатор впрыскивают в полость прессформы. Для ориентации осей легкого намагничивания частиц в одном направлении, т.е. для получения текстуры, прикладывают магнитное поле напряженностью 240–400 кА/м, при этом воду из брикета выдавливают через пористые наконечники пуансонов и удаляют из зоны прессования вакуумным отсосом.

В конце процесса прессования производят размагничивание брикета магнитным полем обратной полярности. В случае сухого прессования используют метод экструзии длинномерных заготовок из глиноподобной массы порошка со специальными смазками. Для получения текстуры в этом случае действуют сравнительно слабым переменным и сильным постоянным магнитным полем. Однако при этой технологии степень магнитной текстуры получается ниже, чем при влажном прессовании, и, как следствие, магнитные свойства получаются заниженными, поэтому сухое прессование не получило широкого применения.

Чтобы предотвратить растрескивание сформованных брикетов при спекании, их подвергают сушке в течение 24–72 ч при комнатной температуре. Спекание производят в туннельной печи 10, в воздушной атмосфере при температуре около 1200 °С. Скорости нагревания и охлаждения составляют 150 К/ч. Выдержка при температуре спекания обычно составляет 3 ч. Усадка брикета при спекании составляет 20 %. После спекания полюсную поверхность магнитов шлифуют алмазным инструментом с охлаждением водным раствором кальцинированной соды на шлифовальном станке 11. Заключительными операциями являются ультразвуковая мойка, сушка и контроль магнитных свойств.

В подавляющем большинстве случаев ферритовые магниты прессуют и спекают в окончательной форме для использования в изделиях. Однако в некоторых случаях необходима резка, которую производят алмазными резцами (кругами) с охлаждением водным раствором кальцинированной соды.

Так как в ходе выполнения дипломного проекта невозможно разработать все аппараты технологической схемы, необходимо подобрать стандартное оборудование исходя из их производительности и размеров.

Подбор оборудования участка помола осуществляется по [42]. Подбор станков осуществляется по [43]. Подбор печей по [44].

Характеристики стандартного оборудования сведено в таблицу 4.

Таблица 4 – Основные характеристики оборудования.

№	Наименование и модель аппарата	Габаритные размеры, мм	Основные характеристики
1	Вибромельница М-400-3	3780×1240×1590	<p>Масса – 1750 кг; Вместимость барабана – 400 л; Частота вибрации – 2920 об/мин; Амплитуда колебаний – 2 мм; Дебалансовый момент – 132 Н·м; Масса шаров – 1480 кг; Мощность двигателя – 40 кВт.</p>
2	Печь барабанная	2100×12700×1800	<p>Производительность печи по сухому продукту – 1234 кг; Диаметр барабана – 1000 мм; Длина барабана – 10000 мм; Скорость вращения барабана – 0,13 об/мин; Мощность привода – 4 кВт; Мощность электронагревателей – 425 кВт; Максимальная температура в барабане – 1000 °С.</p>
3	Молотковая мельница М-8-6	1350×1400×1250	<p>Производительность – 1500 кг/ч; Диаметр ротора – 800 мм; Длина ротора – 600 мм; Размер наибольшего куска загружаемого материала – 250 мм; Номинальная частота вращения – 1000 об/мин; Мощность двигателя – 55 кВт; Масса – 3000 кг</p>

Продолжение таблицы 4.

№	Наименование и модель аппарата	Габаритные размеры, мм	Основные характеристики
4	Печь сушильная ПС – 500	1500×3500×1600	Разовая загрузка 500 кг; Мощность электронагревателей – 4,5 кВт; Максимальная температура сушки – 400 °С.
5	Грохот вибрационный	2000×3000×1600	Производительность 1000 кг/ч; Частота вибрации – 1560 об/мин; Амплитуда колебаний – 6 мм; Масса 2000 кг.
6	Пресс гидравлический Б8018	1400×2000×1400	Производительность 160 шт/мин; Усилие прессования – 63 кН; Число шпинделей – 27; Наибольшая высота засыпки – 30 мм; Тип выталкивателя – ролик; Мощность двигателя – 5,5 кВт; Масса – 3500 кг.
7	Печь прокалочная СШВ-3.3,6/11,5	6500×3600×6450	Масса садки – 400 кг; Мощность электронагревателей – 290 кВт; Размеры рабочего пространства диаметр – 300 мм; длина – 360 мм; Температура – 1400 °С; Масса – 7800 кг.
8	Плоскошлифовальный станок 3711	1850×1960×2085	Размеры рабочей поверхности стола: ширина – 200 мм; длина – 630 мм; Наибольшая высота шлифуемой детали – 325 мм; Расстояние от оси шпинделя до рабочей поверхности стола – 85-450 мм; Продольное перемещение стола – 70-710 мм; Число оборотов шлифовального круга – 2680 об/мин; Мощность двигателя – 2,2 кВт; Масса – 2900 кг.

3 Расчет барабанной прокалочной печи

3.1 Исходные данные для расчета

Данные для расчёта приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные

1	Исходное сырье	$BaO \cdot 6Fe_2O_3$
2	Производительность по исходному сырью G_H , кг/ч	1234
3	Температура отжига, $^{\circ}C$	1000
4	Начальная влажность материала, ω_H , %	0,5
5	Степень заполнения печи	0,1
6	Время протекания процесса, τ_C , ч	1

3.2 Конструкция барабанной печи

В установке получения ферритовых магнитов барабанная вращающаяся печь служит для отжига порошка феррита бария $BaO \cdot 6Fe_2O_3$.

Барабанная вращающаяся печь состоит из барабана, наклонённого к горизонту под углом 2° . Барабан приводится во вращение электродвигателем через редуктор и зубчатую передачу.

Для передачи давления от масс всех вращающихся частей аппарата барабан снабжён бандажками, которые опираются на опорные ролики опорных станций. Для предотвращения перемещения барабана в горизонтальной плоскости служат упорные ролики опорно-упорной станции.

С левой стороны печи установлена камера загрузки материала. Загрузка материала в печь происходит с помощью шнекового питателя. Движение материала внутри печи происходит за счет вращения барабана и наклона его к горизонту. С правой стороны печи установлена камера выгрузки, куда сыпается отожженное вещество. Оттуда же производится вывод пара образующегося при отжиге.

Нагрев печи производится при помощи электронагревателей, расположенных в нижней части печи.

3.3 Материальный расчёт

Материальный расчёт сводится к составлению материального баланса процесса сушки.

Так как задана производительность по влажному материалу, и известна влажность по массе, равная 0,5%, то масса влаги будет равна:

$$W_H = 1234 \cdot 0,005 = 6,17 \text{ кг.}$$

Тогда масса сухого $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, составит

$$G_C = 1234 - 6,17 = 1227,83 \text{ кг.}$$

По результатам расчета составляем таблицу материального баланса.

Таблица 7 – Материальный баланс процесса сушки

Статья прихода		кг	Статья расхода		кг
1 Исходный влажный бариевый феррит $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$		1234	1 Сухой бариевый феррит $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$		1227,83
в т.ч.:			2 Влага W_K		6,17
1.1 Сухой $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$		1227,83			
1.2 Влага H_2O		6,17			
Итого:		1234	Итого:		1234

3.4 Тепловой расчёт процесса сушки

Тепловой расчет сводится к составлению теплового баланса процесса сушки и определению количества подводимого тепла.

Уравнение теплового баланса процесса сушки имеет вид:

$$Q_{\text{ЭЛ.НАГР}} + Q_{\text{CH}} + Q_{\text{WH}} = Q_{\text{ВОД.ПАРА}} + Q_{\text{СК}} + Q_{\text{ПОТЕРЬ}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ЭЛ.НАГР}}$ – тепло поступающее в сушилку от электронагревателя, кДж;
 $Q_{\text{CH}} = G_C \cdot c_C \cdot t_H$ – тепло, поступающее в сушилку с сухим $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, кДж;
 $c_C = 0,75 \cdot 10^3$ – теплоемкость $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, по правилу аддитивности, Дж/кг·К;
 G_C – масса сухого $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, кДж;
 $t_H = 20^\circ\text{C}$ – начальная температура $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ при входе в сушилку, $^\circ\text{C}$;
 $Q_{\text{WH}} = W_H \cdot c_W \cdot t_H$ – тепло, поступающее в сушилку с влагой, кДж;
 W_H – масса влаги начальная, кг;
 $c_W = 4,19 \cdot 10^3$ – теплоемкость H_2O , Дж/кг·К [17];
 $t_H = 20^\circ\text{C}$ – начальная температура H_2O при входе в сушилку, $^\circ\text{C}$;
 $Q_{\text{CK}} = G_C \cdot c_C \cdot t_K$ – тепло, уходящее из сушилки с высушенным $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$, кДж;
 $t_K = 150^\circ\text{C}$ – конечная температура $\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ на выходе из сушилки, $^\circ\text{C}$;
 $Q_{\text{ВОД.ПАРА}} = W_K \cdot i_{\text{П}}$ – тепло, уходящее из сушилки с водяным паром, кДж;
 $i_{\text{П}} = 2710$ кДж/кг – конечная температура H_2O на выходе из сушилки, $^\circ\text{C}$;
 $Q_{\text{ПОТЕРЬ}} = 0,6 \cdot Q_{\text{ЭЛ.НАГР}}$ – потери тепла в окружающую среду, кДж.

Определим составляющие уравнения теплового баланса (1):

$$Q_{\text{CH}} = G_C \cdot c_C \cdot t_H = 1227,83 \cdot 0,75 \cdot 20 = 18417,45 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{\text{WH}} = W_H \cdot c_W \cdot t_H = 6,17 \cdot 4,19 \cdot 20 = 517,046 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{\text{CK}} = G_C \cdot c_C \cdot t_K = 1227,83 \cdot 0,75 \cdot 1000 = 920872,5 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{\text{ВОД.ПАРА}} = W_K \cdot i_{\text{П}} = 6,17 \cdot 2710 = 16720,7 \text{ кДж/ч}.$$

Определим количество тепла, подводимого к сушилке электронагревателями:

$$Q_{\text{ЭЛ.НАГР}} + 18417,45 + 517,046 = 920872,5 + 16720,7 + 0,4 \cdot Q_{\text{ЭЛ.НАГР}},$$

$$0,6 \cdot Q_{\text{ЭЛ.НАГР}} = 918658,704 \text{ кДж/ч},$$

$$Q_{\text{ЭЛ.НАГР}} = 425,305 \text{ кВт}.$$

Так как тепловой КПД равен 40%, то потери тепла в окружающую среду составляют 40% от тепла электронагревателя, и равны:

$$Q_{\text{ПОТЕРЬ}} = 0,4 \cdot 2296646,76 = 612439,136 \text{ кДж/ч.} \quad (2)$$

Результаты расчета теплового баланса приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Материальный расчет процесса сушки

Статья прихода	Теплота, кДж/ч	%	Статья расхода	Теплота, кДж/ч	%
1 Тепло, поступающее в аппарат от эл.нагревателей	1531097,84	98,9	1 Тепло, уходящее из аппарата с высушенным материалом (BaO·6Fe ₂ O ₃)	920872, 5	14,5
2 Тепло, поступающее в аппарат с сухим материалом (BaO·6Fe ₂ O ₃)	18417, 45	0, 3	2 Тепло, уходящее из аппарата с влажным паром	16720,7	26,2
3 Тепло, поступающее в аппарат с влагой	517,04 6	0, 8	3 Потери тепла в окружающую среду	612439,136	59,3
Итого:	1550032,34	100	Итого:	1550032,34	100

На основании данных полученных в ходе теплового расчета подбираем спиральные электронагреватели общей мощностью 500 кВт. Для регулировки степени нагрева печи, нагреватели необходимо подключать через регулятор мощности.

3.5 Конструктивный расчёт

Целью конструктивного расчёта является определение основных размеров барабана и шнекового питателя, скоростей вращения, а также мощностей приводов.

4.5.1 Основные размеры можно определить тремя способами.

1 способ

По заданной производительности:

$$V_{\text{АПШ}} = \frac{G \cdot \tau}{\rho_{\text{CP}} \cdot \varphi}, \quad (3)$$

где

G – производительность печи, кг/ч;

τ – время пребывания материала в аппарате, ч;

φ – коэффициент заполнения;

$$\rho_{\text{CP}} = \frac{\rho_{\text{НАЧ}} + \rho_{\text{КОН}}}{2} = 3144 \text{ – средняя плотность материала, кг/м}^3.$$

$$V_{\text{АПШ}} = \frac{1234 \cdot 1}{0,1 \cdot 3144} = 3,92 \text{ м}^3,$$

Выразим объем барабана печи и соотношения длины и диаметра:

$$\frac{L}{D} = 4 \dots (7 \dots 10) \dots 12, \quad (4)$$

Принимаем $L/D=7$, тогда

$$V_{\text{АПШ}} = L \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{7 \cdot \pi \cdot D^3}{4}, \quad (5)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{\text{АПШ}}}{\pi \cdot 7}}, \quad (6)$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 3,92}{3,14 \cdot 7}} = 0,9 \text{ м}, \quad (7)$$

$$L = 7 \cdot D,$$

$$L = 7 \cdot 0,9 = 6,3 \text{ м.}$$

2 способ

По эмпирическим формулам:

$$D = 0,4542 \cdot G_T^{0,34}, \quad (8)$$

где G_T – суточная производительность, тонны/сутки.

$$D = 0,4542 \cdot 29,616^{0,34} = 1,4 \text{ м,}$$

$$L = 2,59 \cdot G_T^{0,447}, \quad (9)$$

$$L = 2,59 \cdot 29,616^{0,447} = 12 \text{ м,}$$

Учитывая 1 и 2 способа принимаем $D=1 \text{ м, } L=10 \text{ м.}$

4.5.2 Скорость вращения барабана можно определить по формуле:

$$n = \frac{0,02 \dots 0,13}{\sqrt{D}} = \frac{0,13}{\sqrt{1}} = 0,13 \text{ об/сек.} \quad (10)$$

4.5.3. Установочная мощность двигателя необходимая для вращения барабана печи определяется по формуле:

$$N_{\text{вращ}} = 0,0013 \cdot D^3 \cdot L \cdot \rho_{CP} \cdot n \cdot \varphi, \quad (11)$$

$$N_{\text{вращ}} = 0,0013 \cdot 1^3 \cdot 10 \cdot 3144 \cdot 0,13 \cdot 0,1 = 0,53 \text{ кВт.}$$

С учётом пускового момента:

$$N_{\text{двиг}} = \frac{N_{\text{вращ}} + N_{\text{пуск}}}{\eta_{\text{прив}}}, \quad (12)$$

где $N_{\text{пуск}} = N_{\text{вращ}} \cdot 2,5 = 1,325$ – пусковая мощность, кВт;
 $\eta_{\text{прив}} = 0,9$ – КПД привода.

$$N_{\text{двиг}} = \frac{0,53 + 1,325}{0,9} = 2,06 \text{ кВт.}$$

Принимаем стандартный электродвигатель АИР 112МВ8 ТУ 16–525.564–84, мощностью $N = 3 \text{ кВт}$, и частотой вращения $n = 709 \text{ мин}^{-1}$.

4.5.4. Основные размеры шнекового питателя определяем из выражения [15]:

$$V_{II} = 60 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot k, \quad (13)$$

где V_{II} – производительность питателя, м³/ч;
 D_B – диаметр винта, м;
 $S = 0,5 \cdot D$ – шаг винта, м;
 $n = 40$ – скорость вращения шнека, об/мин;
 $\varphi = 0,3$ – степень заполнения трубы;
 $k = 0,3$ – коэффициент проскальзывания материала.

Производительность определяется по формуле:

$$V = \frac{G}{\rho_{CP}},$$

$$V = \frac{1234}{3144} = 0,3925 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Из выражения (13) находим диаметр лопастей шнека:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_{II}}{60 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot n \cdot \varphi \cdot k}},$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 0,3925}{60 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 40 \cdot 0,3 \cdot 0,3}} = 0,17 \text{ м}.$$

4.5.5. Мощность двигателя необходимая для вращения шнекового питателя находится по формуле [15]:

$$N = \frac{G}{368 \cdot \eta_{прив}} \cdot (H + L \cdot k_T), \quad (14)$$

где G – массовая производительность, т/час;
 H – высота подъема материала, м;
 L – длина подачи в горизонтальном направлении, м;
 $k_T = 1,3$ – коэффициент, учитывающий потери на трение.

$$N = \frac{1,234}{368 \cdot 0,9} \cdot (0 + 1 \cdot 2,5) = 0,01 \text{ кВт.}$$

Принимаем стандартный электродвигатель АИР 71А6 ТУ 16–525.564–84, мощностью $N = 0,37 \text{ кВт}$, и частотой вращения $n = 915 \text{ мин}^{-1}$. Для понижения скорости вращения необходимо установить редуктор и цепную передачу от редуктора к валу шнека.

4.5.4. Диаметры патрубков рассчитываются на основании уравнения расхода по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}}, \quad (15)$$

где V – объемный расход жидкости или пара, $\text{м}^3/\text{с}$;

w – скорость потока, $\text{м}/\text{с}$.

Диаметр патрубков для воздуха:

$$d_{\text{вых.гозд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,17}{3,14 \cdot 4 \cdot 3600 \cdot 1,29}} = 0,02 \text{ м,}$$

Принимаем $d_{\text{вых.гозд}} = 0,02 \text{ м}$. Диаметр патрубка для выхода материала принимаем равным $0,3 \text{ м}$. Диаметр смотрового окна принимаем равным $0,2 \text{ м}$, диаметр патрубка для подвода материала выбираем по диаметру шнека.

3.6 Прочностной расчёт

Схема распределения нагрузок на барабан показана на рисунке 10. Барабан представляет собой балку постоянного сечения длиной $L = 10 \text{ м}$ с действующей на неё постоянной распределённой нагрузкой. Балка установлена на опорах, расстояние между которыми принимаем равным $l_2 = 8,2 \text{ м}$. Расстояние от края барабана до упорного банджа (опора А) $l_1 = 1 \text{ м}$. От другого края барабана до опорного банджа (опора В) $l = 0,8 \text{ м}$. Расстояние от упорного банджа до венца шестерни $l_3 = 0,75 \text{ м}$. Нагрузка от шестерни $Q = 3 \text{ кН}$.

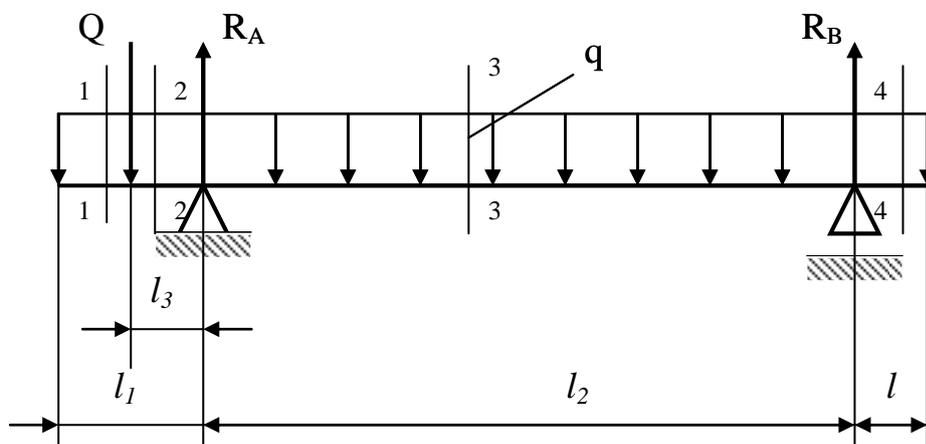


Рисунок 10 – Распределение нагрузок на барабан

4.6.1 Расчёт барабана на прочность

Толщину стенки барабана выбираем из условия:

$$S_{\sigma} = (0,007 \dots 0,01) \cdot D_H, \quad (16)$$

где D_H – наружный диаметр барабана, м.

$$S_{\sigma} = 0,01 \cdot 1 = 0,01 \text{ м.}$$

Принимаем $S_{\sigma} = 0,01$ м.

Внутренний диаметр барабана

$$D_B = D_H - 2 \cdot S_{\sigma} = 1 - 2 \cdot 0,01 = 0,98 \text{ м.}$$

Масса материала, находящегося в печи определяется по формуле:

$$m_M = \varphi \cdot \rho_M \cdot L \cdot \pi \cdot D_B^2 / 4, \quad (17)$$

$$m_M = 0,1 \cdot 3144 \cdot 10 \cdot 3,14 \cdot 0,98^2 / 4 = 2370,3 \text{ кг.}$$

Масса корпуса барабана определяется по формуле:

$$m_K = \frac{\pi \cdot L}{4} \cdot (D_H^2 - D_B^2), \quad (18)$$

$$m_K = \frac{3,14 \cdot 10}{4} \cdot (1^2 - 0,98^2) \cdot 7850 = 2440,25 \text{ кг.}$$

Суммарная масса барабана и материала

$$m = m_K + m_M = 2440,25 + 2370,3 = 4810,55 \text{ кг.} \quad (19)$$

Линейная нагрузка, действующая на барабан, определяется по формуле:

$$q = m \cdot g / L, \quad (20)$$

$$q = 4810,55 \cdot 9,81 / 10 = 4719,15 \text{ Н / м.}$$

Условие прочности для барабана печи:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma], \quad (21)$$

где σ – напряжение в барабане, МПа;
 $[\sigma] = 5 \dots 10 \text{ МПа}$ – допускаемое напряжение для аппарата из стали марки 12Х18Н10Т;
 W – момент сопротивления сечения барабана, м³;
 M_{Zmax} – максимальный изгибающий момент, действующий на барабан, Н·м.

$$W = \frac{S_{\sigma} \cdot \pi \cdot D_{CP}^2}{4}, \quad (22)$$

где D_{CP} – средний диаметр барабана, м.

$$D_{CP} = \frac{D_H + D_B}{2},$$

$$D_{CP} = \frac{1 + 0,98}{2} = 0,99 \text{ м.}$$

Тогда

$$W = \frac{0,01 \cdot 3,14 \cdot 0,99^2}{4} = 0,0077 \text{ м}^3.$$

Для определения максимального изгибающего момента M_{Zmax} построим эпюры поперечных сил Q_Y и изгибающих моментов M_Z (рисунок 2), для чего определим реакции опор R_A и R_B от действия распределенной силы q и нагрузок P . Составим суммы моментов всех внешних сил относительно опор:

$$\sum M_A = R_B \cdot l_2 - Q \cdot (l_2 + l_3) - q \cdot L \cdot \left(\frac{L}{2} - l\right) = 0,$$

$$\sum M_B = q \cdot L \cdot \left(\frac{L}{2} - l_1\right) - R_A \cdot l_2 - Q \cdot l_3 = 0.$$

Проверим правильность определения реакции путем составления ранее не использованного уравнения равновесия:

$$\sum Y = 0; \quad R_A + R_B - Q - q \cdot L = 0,$$

Выразим R_B :

$$R_B = \frac{Q \cdot (l_2 + l_3) + q \cdot L \cdot \left(\frac{L}{2} - l\right)}{l_2} = \frac{3000 \cdot 7,5 + 4719,15 \cdot 10 \cdot 3,5}{6,5} = 28871,25 \text{ Н.}$$

Выразим R_A :

$$R_A = \frac{q \cdot L \cdot \left(\frac{L}{2} - l_1\right) - Q \cdot l_3}{l_2} = \frac{47191,5 \cdot 3 - 3000 \cdot 1}{6,5} = 21319,15 \text{ Н.}$$

Проверим правильность определения реакции путем составления ранее не использованного уравнения равновесия:

$$\sum Y = 0; \quad R_A + R_B - Q - q \cdot L = 0,$$

$$28871,25 + 21319,15 - 3000 - 47191,5 = 0.$$

$0 = 0$ – следовательно, реакции опор R_A и R_B определены верно.
Используя метод сечений, определим Q_Y и M_Z :

сечение 1-1_{слева} ($0 < x < (l_1 - l_3)$): $Q_Y(x) = -q \cdot x, \quad M_Z(x) = -q \cdot \frac{x^2}{2},$

при $x = 0$: $Q_Y(x) = 0, \quad M_Z(x) = 0.$

при $x = (l_1 - l_3)$: $Q_Y(x) = -q \cdot (l_1 - l_3) = -4719,15 \cdot 0,25 = -1179,79 \text{ H},$

$$M_Z(x) = -q \cdot \frac{(l_1 - l_3)^2}{2} = -4719,15 \cdot \frac{0,25^2}{2} = -147,17 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

сечение 2-2_{слева} ($(l_1 - l_3) < x < l_1$): $Q_Y(x) = -q \cdot x - Q, \quad M_Z(x) = -q \cdot \frac{x^2}{2} - Q \cdot (x - l_1 + l_3),$

при $x = (l_1 - l_3)$: $Q_Y(x) = -q \cdot (l_1 - l_3) - Q = -4719,15 \cdot 0,25 - 3000 = -4179,79 \text{ H},$

$$M_Z(x) = -q \cdot \frac{(l_1 - l_3)^2}{2} - Q \cdot 0 = -4719,15 \cdot \frac{0,25^2}{2} - 3000 \cdot 0 = -147,47 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

при $x = l_1$: $Q_Y(x) = -q \cdot l_1 - Q = -4719,15 \cdot 1 - 3000 = -7719,15 \text{ H},$

$$M_Z(x) = -q \cdot \frac{x^2}{2} - Q \cdot x = -4719,15 \cdot \frac{1^2}{2} - 3000 \cdot 0,75 = -4609,6 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

сечение 3-3_{справа} ($l < x < l + l_2$): $Q_Y(x) = -R_B + q \cdot x,$

$$M_Z(x) = R_B \cdot (x - l) - q \cdot \frac{x^2}{2},$$

при $x = l$: $Q_Y(x) = -R_B + q \cdot l = -22745,85 + 4719,15 \cdot 0,8 = -18970,53 \text{ H},$

$$M_Z(x) = R_B \cdot (l - l) - q \cdot \frac{l^2}{2} = 22745,85 \cdot 0 - 4719,15 \cdot \frac{0,8^2}{2} = -1510,128 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

при $x = (l+l_2)$:

$$Q_Y(x) = -R_B + q \cdot (l+l_2) = -22745,85 + 4719,15 \cdot (0,8 + 8,2) = 19726,5 \text{ H},$$

$$M_Z(x) = R_B \cdot (l+l_2-l) - q \cdot \frac{(l+l_2)^2}{2} = 22745,85 \cdot 8,2 - 4719,15 \cdot \frac{9^2}{2} = -4609,6 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

при $x = (l+l_2/2)$:

$$Q_Y(x) = -R_B + q \cdot (l+l_2/2) = 22745,85 - 4719,15 \cdot 4,9 = -377,985 \text{ H},$$

$$M_Z(x_2) = R_B \cdot (l-l+l_2/2) - q \cdot \frac{(l+l_2/2)^2}{2} = 22745,85 \cdot 4,1 - 4719,15 \cdot \frac{4,9^2}{2} = 36604,6 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

при $x = (l+0,75l_2)$:

$$Q_Y(x) = -R_B - q \cdot (l+0,75 \cdot l_2) = -22745,85 + 4719,15 \cdot 6,95 = 10052,2 \text{ H},$$

$$M_Z(x_2) = R_B \cdot (l-l+0,75 \cdot l_2) - q \cdot \frac{(l+0,75 \cdot l_2)^2}{2} = 22745,85 \cdot 6,15 - 4719,15 \cdot \frac{6,95^2}{2} = 25913,6 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

при $x = (l+0,25l_2)$:

$$Q_Y(x) = -R_B + q \cdot (l+0,25 \cdot l_2) = -22745,85 + 4719,15 \cdot 2,85 = -9296,27 \text{ H},$$

$$M_Z(x_2) = R_B \cdot (l-l+0,25 \cdot l_2) - q \cdot \frac{(l+0,25 \cdot l_2)^2}{2} = 22745,85 \cdot 2,05 - 4719,15 \cdot \frac{2,85^2}{2} = 27463,3 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

при $x = 4,82 \text{ м}$:

$$Q_Y(x) = 0,$$

$$M_{Z \max}(x_2) = R_B \cdot (4,82-l) - q \cdot \frac{4,82^2}{2} = 22745,85 \cdot (4,82-0,8) - 4719,15 \cdot \frac{4,82^2}{2} = 36619,7 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

сечение 4-4_{справа} ($0 < x < l$): $Q_Y(x) = q \cdot x$, $M_Z(x_2) = -q \cdot \frac{x^2}{2}$,

при $x = 0$:

$$Q_Y(x) = 0, \quad M_Z(x) = 0.$$

при $x = l$:

$$Q_Y(x) = q \cdot l = 4719,15 \cdot 0,8 = 3775,35 \text{ H},$$

$$M_Z(x) = -4719,15 \cdot \frac{0,8^2}{2} = -1510,128 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

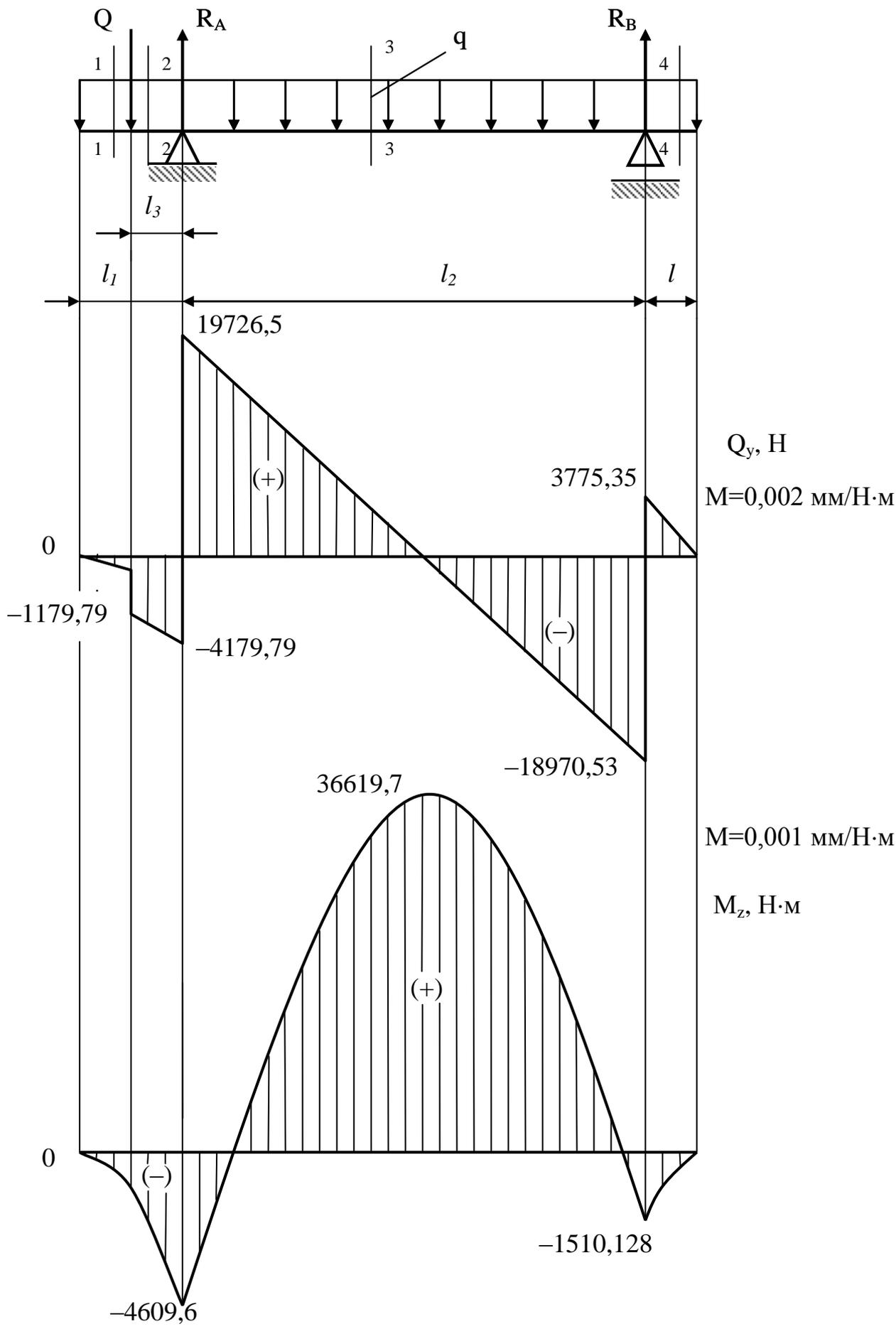


Рисунок 11 – Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, действующих на барабан

Из расчётов видно, что максимальный изгибающий момент, действующий на барабан

$$M_{Z \max} = 36619,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Подставив полученные значения $M_{Z \max}$ и W в условие прочности (21) получим:

$$\sigma = \frac{36619,7}{0,0077} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,8 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется: $\sigma \leq [\sigma]$ ($4,8 < 25 \text{ МПа}$).

4.6.2 Расчёт барабана на жёсткость

Условие жёсткости для барабана

$$\varepsilon = y_{\max} / D_{CP} \leq [\varepsilon], \quad (22)$$

где y_{\max} – суммарный максимальный прогиб от действующих нагрузок, м;
 ε – относительный прогиб;
 $[\varepsilon] = 1/200$ – допускаемый относительный прогиб (для барабана без футеровки);

Суммарный максимальный прогиб от действующих нагрузок

$$y_{\max} = \frac{D_{CP}^3}{8 \cdot E \cdot I_x} \cdot (0,04 \cdot q_1 + 0,002 \cdot q_2), \quad (23)$$

где q_1 – линейная нагрузка от массы обрабатываемого материала, Н/м;
 q_2 – линейная нагрузка от массы барабана, Н/м;
 $E = 1,05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости материала корпуса при рабочей температуре ($t \geq 1000 \text{ }^\circ\text{C}$);
 $I_x = 1 \cdot S_o^3 / 12$ – момент инерции единичного кольцевого участка барабана, м³.

Линейная нагрузка от массы обрабатываемого материала определяется по формуле:

$$q_1 = g \cdot m_M / L = 9,81 \cdot 2370,3 / 10 = 2325,26 \text{ Н/м},$$

Линейная нагрузка от массы барабана определяется по формуле:

$$q_2 = g \cdot m_K / L = 9,81 \cdot 2440,25 / 10 = 2393,88 \text{ Н/м},$$

Момент инерции единичного кольцевого участка барабана равен:

$$I_x = 1 \cdot 0,01^3 / 12 = 8,333 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3,$$

Суммарный максимальный прогиб от действующих нагрузок:

$$y_{\max} = \frac{0,99^3}{8 \cdot 1,05 \cdot 10^{11} \cdot 8,333 \cdot 10^{-8}} \cdot (0,04 \cdot 2325,216 + 0,002 \cdot 2393,88) = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Подставив полученные значения в условие жёсткости (22) получим:

$$\varepsilon = y_{\max} / D_{CP} = 1,36 \cdot 10^{-3} / 0,99 = 0,001.$$

Условие жёсткости выполняется: $\varepsilon \leq [\varepsilon]$, $(0,001 < 0,005)$.

3.7 Расчёт бандажей барабанной печи

Машины и аппараты, выполненные в виде вращающихся горизонтальных барабанов, широко распространены в промышленности, но во многих случаях применение вала оказывается невыгодным из-за размеров и веса машины, температурных удлинений. В этом случае на цилиндр надеваются бандажи, устанавливаемые на роликах. Барабан вращается с помощью венцовой шестерни, которая связана с шестерней, сидящей на валу редуктора.

Для машин барабанного типа бандажи – наиболее ответственные детали. Выход из строя бандажа влечет за собой длительную остановку машины на ремонт.

Проектная долговечность бандажа составляет 10 – 15 лет; материал бандажей Ст 25, Ст 35, Ст 45; для обычных машин бандажи выполняют литыми, для ответственных – кованными. Чаще всего бандаж представляет собой кольцо прямоугольного сечения.

Соображения об увеличении долговечности бандажа учитывают при выборе материала ролика. Так как ролики делают в 3 – 4 раза больше оборотов, чем бандаж, то с точки зрения равнопрочности они должны быть прочнее бандажа. Однако ролики изготавливаются из стали менее прочной, чем бандаж, для увеличения срока службы. Например, при изготовлении бандажа из стали Ст 45 ролики выполняют из стали Ст 35. Замена ролика – процедура несложная.

По способу связи между бандажом и барабаном различают следующие бандажи:

1) бандажи, скрепленные с барабаном в нескольких точках применяются для установки и вращения относительно легких барабанов, изготавливаются из полосовой стали, углового проката, иногда отливаются;

2) бандаж, скрепленные с барабаном по всей окружности, т.е. жестко скрепленные – применяются при значительных нагрузках, когда тепловое расширение отсутствует или крайне незначительно;

3) бандаж, надетые на барабан свободно – применяются в тяжелых аппаратах, медленно вращающихся машинах, когда возможно значительное тепловое расширение; эти бандаж наиболее прочны по конструкции и поэтому широко применяются.

Для данной печи выбираем свободно надетый бандаж при соприкосновении с корпусом в конечном числе точек. Угол между роликами – 60° . Число башмаков равным десяти.

3.7.1. Определение реакций роликов и их размеров

4.7.1.1 Определение реакций опорных роликов и их размеров

Схема действия сил на бандаж, опорные ролики и упорный винт показаны на рисунке 12.

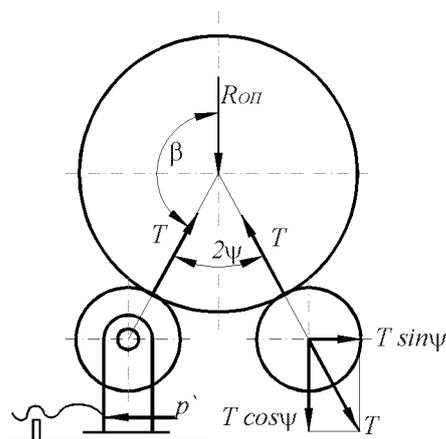


Рисунок 12 – Схема действия сил на бандаж, ролики и упорный винт

Опорные реакции роликов определяются из уравнения равновесия сил [4,5].

$$Q = -2T \cos \psi, \quad (23)$$

где Q – нагрузка на бандаж, Н;
 T – реакция ролика, Н.

Так как

$$\cos \psi = \cos(\pi - \beta) = -\cos \beta,$$

то

$$T = \frac{Q}{2 \cos \beta}, \quad (24)$$

$$T = \frac{28871,25}{2 \cos 150} = -16,669 \text{ кН},$$

Расчетная ширина роликов определяется по формуле:

$$b_R = \frac{T}{[P]}, \quad (25)$$

где b_R – расчетная ширина роликов, м;

$[P]$ – допускаемая удельная нагрузка на единицу длины касания, МН/м.

$$b_R = \frac{16,669}{2 \cdot 10^3} = 0,008 \text{ м}.$$

Исполнительная ширина роликов b берется с учетом возможного теплового удлинения машины или аппарата (Δb) и прибавки 30 – 40 мм для облегчения их монтажа. Таким образом, [15, с. 7]

$$b = b_R + \Delta b + (0,03 - 0,04), \quad (26)$$

где $\Delta b = \alpha(t_M - t_o)l = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot (1000 - 20) \cdot 10 = 0,1176 \text{ м}$ – возможное тепловое удлинение машины или аппарата, м;

α – коэффициент линейного расширения материала машины или аппарата, K^{-1} ;

t_M, t_o – максимальная рабочая температура машины или аппарата и минимальная температура их монтажа, C^0 ;

l – расстояние от данного ролика до неподвижного бандажа, расположенного между упорными роликами, м.

тогда

$$b = 0,008 + 0,1176 + 0,03 = 0,156 \text{ м}.$$

Диаметры опорных роликов определяются по формуле:
для стальных роликов

$$d_p = \frac{[P]}{30 - 40}, \quad (27)$$

где d_p – диаметры опорных роликов, м;

$$d_p = \frac{2}{40} = 0,05 \text{ м}.$$

Диаметры опорных роликов уточняются по формуле:
Для тяжелых аппаратов и машин

$$0,25D_{\sigma} \leq d_p \leq 0,33D_{\sigma}, \quad (28)$$

где $D_{\sigma} = 1,5$ – наружный диаметр бандажа, м;

$$0,375 \leq d_p \leq 0,495.$$

Принимаем $d_p = 0,4$ м.

В процессе регулировки ролика на каждый из двух упорных винтов приходится усилие P' , Н, которое определяется как полу сумма горизонтальной составляющей реакции в опоре и силы трения в основании опоры [15, с.8]

$$P' = -0,5 \cdot (T \cdot \sin \psi + f \cdot T \cdot \cos \psi), \quad (29)$$

где $f = 0,2$ – коэффициент трения между рамой и плитами для стали;

После подстановки значения реакции опоры из формулы (1) получается, что

$$P' = 0,25 \cdot Q \cdot (\operatorname{tg} \psi + f). \quad (30)$$

При $\psi = 30^{\circ}$ для стали

$$P' = 0,2 \cdot Q \quad (31)$$

$$P' = 0,2 \cdot 28,871 = 5,77 \text{ кН}.$$

Это усилие используется для определения диаметра упорного регулировочного винта.

3.7.1.2 Определение реакций упорных роликов

Кроме опорных роликов один из крайних бандажей снабжается еще и упорными роликами. Это два мощных упорных диска, укрепленных на вертикальных осях, расположенных по обеим сторонам бандажа. Назначение упорных роликов – препятствовать передвижению корпуса машины и аппарата вдоль оси.

Для реализации качения упорного ролика по скошенной боковой поверхности бандажа без проскальзывания вершина конической поверхности ролика должна находиться на оси барабана (рисунок 13).

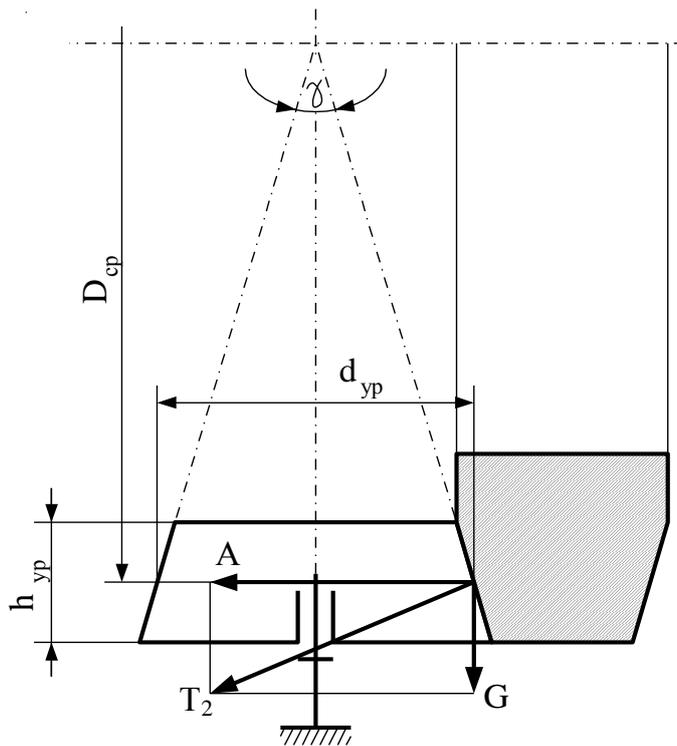


Рисунок 13 – Схема действия сил на упорный валик

Если упорный ролик удерживает барабан от сползания с опорных роликов, то нагрузка A , действующая на него, является осевой составляющей силы тяжести G наклонно расположенного барабана, то есть [15, с.9]

$$A = G \cdot \sin \alpha, \quad (31)$$

где α – угол наклона барабана к горизонтали, принимается $\alpha = 1-5^\circ$;
 G – сила тяжести, Н.

$$A = 23,596 \cdot \sin 5^\circ = 2,057 \text{ кН}.$$

Сила T_2 , нормальная к боковой поверхности ролика, определяется по формуле

$$T_2 = \frac{A}{\cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)} = \frac{G \cdot \sin \alpha}{\cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}, \quad (32)$$

где $\gamma = 17^\circ$ – угол при вершине конуса [3].

Тогда

$$T_2 = \frac{28,871 \cdot \sin 5^\circ}{\cos\left(\frac{17}{2}\right)} = 2,5 \text{ кН.}$$

Из рисунка 4 видно, что

$$\frac{\gamma}{2} = \arctg \frac{d_{yp}}{D_{CP. \delta}},$$

где d_{yp} – средний диаметр упорного ролика, м.

$$d_{yp} = D_{CP. \delta} \cdot \tg \frac{\gamma}{2} = 0,99 \cdot \tg 8,5^\circ = 0,15 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем $d_{yp} = 0,15 \text{ м.}$

Ширина упорного ролика определяется по формуле:

$$b_{y.p} = 0,59^2 \cdot \frac{E_1 \cdot E_3 \cdot (m + m_3 + 2 \cdot m_B) \cdot g \cdot \sin \alpha}{(E_1 + E_3) \cdot [\sigma_R]^2 \cdot 0,5 \cdot D_{H.B} \cdot \sin(\gamma/2)},$$

где $E_3 = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости материала упорного ролика;
 $m_3 = 204 \text{ кг}$ – масса звёздочки и её крепления;
 $m_B = 127 \text{ кг}$ – масса бандажа.

$$b_{y.p} = 0,59^2 \cdot \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot (4810,55 + 204 + 2 \cdot 127) \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot \sin 2^\circ}{(2 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5) \cdot 600^2 \cdot 0,5 \cdot 1,5 \cdot \sin(17^\circ / 2)} = 0,016 \text{ м.}$$

Принимаем $b_{y.p} = 0,02 \text{ м.}$

3.7.2 Расчет бандажа и роликов на контактную прочность

При расчете на контактную прочность уточняются ширина бандажа, рабочая длина опорного и высота упорного роликов.

В месте контакта бандажа и роликов возникают деформированные участки. Материал на этих участках находится в условиях объемного напряженного состояния. Схема распределения контактного давления в опорном ролике показана на рисунке 14.

В этом случае бандаж и ролик рассматривают как два цилиндра длиной b_1 , сжатые силой T , которая действует в плоскости осей цилиндров. При этом считают, что материал цилиндров изотропный, а деформации упругие.

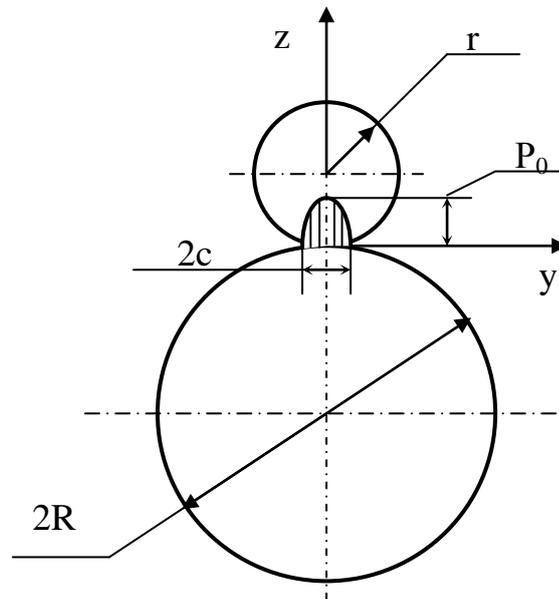


Рисунок 14– Схема распределения контактного давления в ролике.

Установлено, что в этих условиях цилиндры сминаются по линии первоначального контакта с образованием полоски шириной $2C$ [18], причем

$$C = 2 \cdot \sqrt{T \cdot \frac{1 - \mu^2}{\pi \cdot b_1} \cdot \frac{E_1 + E_2}{E_1 \cdot E_2} \cdot \frac{r \cdot R}{r + R}}, \quad (33)$$

где $E_1 = 2,04 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $E_2 = 2,02 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модули упругости материалов соответственно бандажа и опорного ролика, МПа;

$\mu = 0,3$ – коэффициент Пуассона для стали;

$r = 0,2 \text{ м}$; $R = 0,75 \text{ м}$ – радиусы соответственно опорного ролика и бандажа, м;

$b_1 = 0,08 \text{ м}$ – ширина бандажа, м.

$$C = 2 \cdot \sqrt{16669 \cdot \frac{1 - 0,3^2}{3,14 \cdot 0,008} \cdot \frac{2,04 \cdot 10^{11} + 2,02 \cdot 10^{11}}{2,04 \cdot 10^{11} \cdot 2,02 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{0,2 \cdot 0,75}{0,2 + 0,75}} = 1,94 \cdot 10^{-3}.$$

Давление p , МПа, на площади контакта распределяется по ширине полоски по эллиптическому закону

$$\frac{p^2}{P_0^2} + \frac{y^2}{c^2} = 1, \quad (34)$$

где P_0 – максимальное давление при $y=0$, МПа, равное

$$P_0 = \sqrt{\frac{T}{\pi \cdot (1 - \mu^2) \cdot b_1} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \cdot \frac{R + r}{R \cdot r}}. \quad (35)$$

$$P_0 = \sqrt{\frac{16669}{3,14 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 0,008} \cdot \frac{2,04 \cdot 10^{11} \cdot 2,02 \cdot 10^{11}}{2,04 \cdot 10^{11} + 2,02 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{0,2 + 0,75}{0,2 \cdot 0,75}} = 6,85 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Максимальное эквивалентное напряжение в зоне контакта

$$\sigma_\kappa = 0,6 \cdot P_0, \quad (36)$$

$$\sigma_\kappa = 0,6 \cdot 6,8 \cdot 10^8 = 4,1 \cdot 10^8 \text{ Па}.$$

Поэтому условие прочности при расчете бандажей и роликов на контактную прочность имеет вид

$$0,6 \cdot P_0 = \sigma_\kappa \leq [\sigma]_B^\kappa, \quad (37)$$

где $[\sigma]_B^\kappa$ – допускаемое контактное напряжение для материала бандажа, МПа;

$$\sigma_\kappa \leq [\sigma]_B^\kappa \quad (410 < 600).$$

В РД 26 – 01 – 158 – 86 [18] условие контактной прочности для бандажа и опорного ролика

$$\sigma_\kappa = 0,42 \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot b_1 \cdot (1 - \mu^2) \cdot \cos \psi} \cdot \frac{E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2} \cdot \frac{D_\delta + d_p}{D_\delta \cdot d_p}} \leq [\sigma]_B^\kappa, \quad (38)$$

где $D_\delta = 1,5 \text{ м}$; $d_p = 0,05 \text{ м}$ – наружные диаметры соответственно бандажа и опорного ролика, м;

Имеем:

$$\sigma_\kappa = 0,42 \sqrt{\frac{28871,25}{3,14 \cdot 0,008 (1 - 0,3^2) \cdot \cos 30^\circ} \cdot \frac{2,04 \cdot 10^{11} \cdot 2,02 \cdot 10^{11}}{2,04 \cdot 10^{11} + 2,02 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{1,5 + 0,05}{1,5 \cdot 0,05}} = 174 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{\kappa} \leq [\sigma]_{\kappa}^{\kappa} \quad (174 < 600).$$

Для упорного ролика условие контактной прочности имеет вид

$$\sigma_{\kappa} = 0,418 \sqrt{\frac{T_2 \cdot E_3 \cdot 10^6}{h_{yp} \cdot \left(\frac{D_{cp}}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}} \leq [\sigma]_{yp}^{\kappa}, \quad (39)$$

где E_3 – модуль упругости материала упорного ролика, МПа;

h_{yp} – высота упорного ролика, м;

$[\sigma]_{yp}^{\kappa}$ – допускаемое контактное напряжение для материала упорного ролика, МПа.

3.7.3 Расчет бандажа на прочность от действия изгибающих моментов

При расчете бандажа на изгиб определяется высота его сечения [15, с.12]

$$\sigma_u = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma]_u, \quad (40)$$

где σ_u и $[\sigma]_u$ – действующее и допускаемое напряжение изгиба, МПа;

W – момент сопротивления сечения бандажа, м³;

M_{\max} – максимальный изгибающий момент в бандаже, МН·м;

для прямоугольного сечения бандажа

$$W = \frac{b_1 h^2}{6}, \quad (41)$$

где h – высота сечения бандажа, м.

3.7.4 Свободно надетый бандаж

При работе машины со свободно надетым бандажом корпус под действием нагрузки деформируется и соприкасается с внутренней поверхностью бандажа непосредственно или через башмаки.

При непосредственном контакте бандажа с корпусом происходит их непрерывное касание нижними половинами поверхностей, а при контакте через башмаки – касание в конечном числе точек и также только в нижней половине их поверхностей.

4.7.4.1 Свободно надетый бандаж при соприкосновении с корпусом в конечном числе точек

Расчетная схема действующих сил и моментов представлена на рисунке 15.

При такой схеме нагружения бандажа возможны два случая:

- 1) число башмаков n четное, но не кратное четырем;
- 2) число башмаков n кратно четырем.

В данной работе мы имеем дело с первым случаем. В первом случае два башмака должны быть расположены на вертикальном диаметре бандажа и нагрузка на каждый i – й башмак P_i определяется по формуле [15, с.18]

$$P_i = \frac{4 \cdot Q}{n} \cdot \cos i\delta, \quad (42)$$

где i – порядковый номер башмака в левом нижнем квадранте, начиная с нижнего сечения вертикального диаметра, причем для башмака, находящегося на вертикальном диаметре, принимают $i = 0$;

$\delta = \frac{2 \cdot \pi}{n}$ – угол между соседними башмаками.

$$P_0 = \frac{4 \cdot 28,871}{10} = 11,55 \text{ кН},$$

$$P_1 = \frac{4 \cdot 28,871}{10} \cdot \cos(1 \cdot 36) = 9,34 \text{ кН},$$

$$P_2 = \frac{4 \cdot 28,871}{10} \cdot \cos(2 \cdot 36) = 3,57 \text{ кН}.$$

На рисунке 15 представлена расчетная схема действующих сил и моментов.

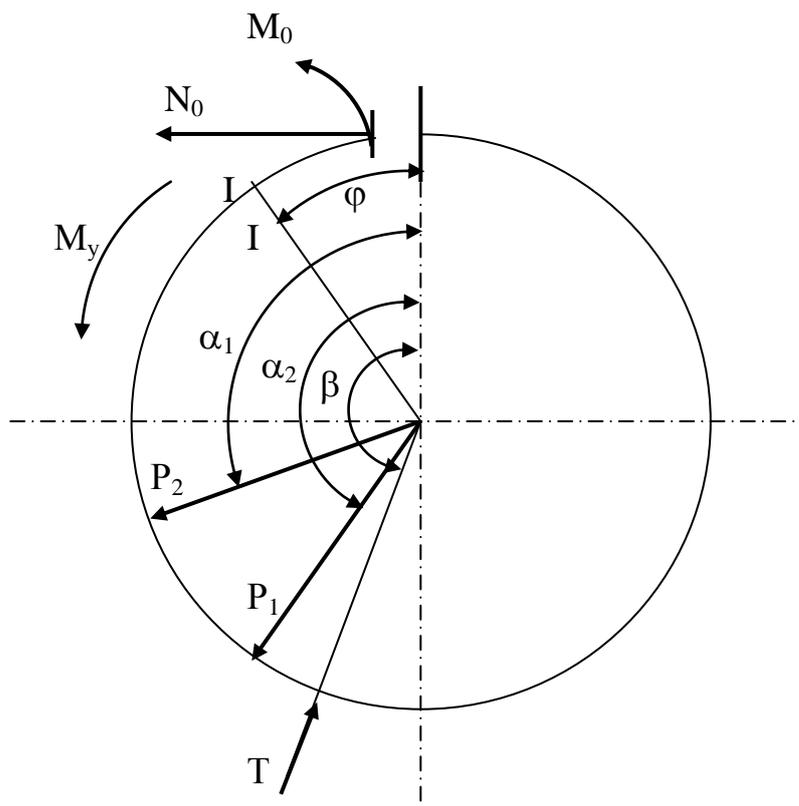


Рисунок 15 – Расчетная схема действующих сил и моментов

Значения силы \$N_0\$ и момента \$M_0\$ в этом случае равны

$$N_0 = -\frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot \left[\frac{\pi}{\sin \delta} + n \cdot (\pi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta \right], \quad (43)$$

$$M_0 = -\frac{4 \cdot Q \cdot R}{\pi \cdot n} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot \sin \left(\frac{\delta}{2} \right)} + \frac{n}{8 \cdot \cos \beta} - \frac{\pi}{8 \cdot \cos \beta} - \frac{n}{8} \cdot (\pi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \beta \right]. \quad (44)$$

$$N_0 = -\frac{28,871}{2 \cdot 3,14 \cdot 10} \cdot \left[\frac{3,14}{\sin 36} + 10 \cdot (3,14 - 2,618) \cdot \operatorname{tg} 2,618 \right] = -1,056 \text{ кН},$$

$$M_0 = -\frac{4 \cdot 28,871 \cdot 0,75}{3,14 \cdot 10} \cdot \left[\frac{1}{2 \cdot \sin\left(\frac{36}{2}\right)} + \frac{10}{8 \cdot \cos 150} - \frac{3,14}{8 \cdot \sin 36} - \frac{10}{8} \cdot (3,14 - 2,618) \cdot \operatorname{tg} 2,618 \right] =$$

$$= 0,314 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Изгибающие моменты в любом сечении бандажа с углом φ , отсчитываемым от верхней части вертикального диаметра против часовой стрелки, определяются следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} M_\varphi &= M_0 + N_0 \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi), \\ &\text{при } 0 \leq \varphi \leq \alpha_1, \\ \\ M_\varphi &= M_0 + N_0 \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi) + P_1 \cdot R \cdot \sin(\varphi - \alpha_1), \\ &\text{при } \alpha_1 \leq \varphi \leq \beta, \\ \\ M_\varphi &= M_0 + N_0 \cdot R \cdot (1 - \cos \varphi) + P_1 \cdot R \cdot \sin(\varphi - \alpha_1) + \\ &+ P_2 \cdot R \cdot \sin(\varphi - \alpha_2) - T \cdot R \cdot \sin(\varphi - \beta), \\ &\text{при } \beta \leq \varphi \leq \pi. \end{aligned} \right\} (45)$$

Здесь реакции ролика T определяется по формуле (24). Расчет изгибающих моментов по формуле (45) проводят по точкам, задавая значения угла φ от 0 до 180° через определенный интервал $\Delta\varphi$, например через 10° . По этим значениям строят эпюру изгибающих моментов и определяют максимальный момент M_{\max} .

Так как ручной расчет изгибающих моментов в бандаже, особенно при малом шаге, достаточно сложен, то воспользуемся компьютерной программой BANDAV 3. Исходные данные к расчету приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Исходные данные к компьютерному расчету

Переменная	Q	R	β	$\Delta\varphi$	n	P_1	P_2	P_3	α_1	α_2	α_3
Размерность	кН	м	рад	рад	шт	кН			рад		
Значение	28,87	0,75	2,61	0,174	10	3,57	9,34	11,5	1,88	2,51	3,14

Из расчета видно, что максимальный изгибающий момент $M_{\max} = 1,377 \text{ кН} \cdot \text{м}$, лежит в сечениях при $\varphi = 150^\circ$ и $\varphi = 210^\circ$. На рисунке 16 изображена эпюра изгибающих моментов.

Максимальный изгибающий момент можно также найти по формуле:

$$M_{\max} = 0,063 \cdot Q \cdot R, \quad (46)$$

$$M_{\max} = 0,063 \cdot 28,87 \cdot 0,75 = 1,377 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$h = \frac{D_o - D_n}{2} = \frac{1,5 - 1}{2} = 0,25 \text{ м} = 250 \text{ мм},$$

Момент сопротивления сечения бандажа равен:

$$W = \frac{0,008 \cdot 0,25^2}{6} = 8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3,$$

$$\sigma_u = \frac{1,377 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^{-5}} = 17,21 \text{ МПа},$$

$$\sigma_u = 17,21 \leq [\sigma]_u = 50 \text{ МПа}.$$

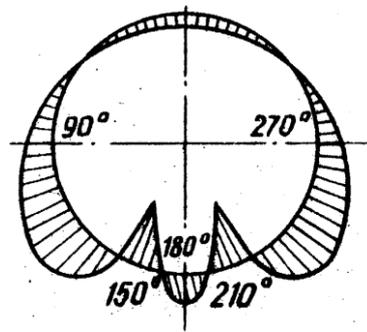


Рисунок 16 – Эпюра изгибающих моментов

3.7.5 Определение эквивалентных напряжений в бандаже

Выше мы рассмотрели определение контактных напряжений σ_u и напряжений изгиба σ_k , действующих в бандаже. На основании расчета бандажа на контактную прочность определяется ширина бандажа, а на основании расчета на изгиб – его сечение и высота.

Приведенные (эквивалентные) напряжения определяют прочность бандажа от действия обоих видов напряжений.

Эквивалентные напряжения в бандаже определяются по третьей гипотезе прочности

$$\sigma_{\text{экв}} = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}, \quad (47)$$

Максимальные и минимальные напряжения выбираются из трех, полученных при расчетах по формулам:

$$\sigma_1 = \sigma_x = -2 \cdot \mu \cdot \sigma_k \cdot e^{-\gamma}, \quad (48)$$

$$\sigma_1 = \sigma_y = -\sigma_k \cdot e^{-\gamma} \cdot (1 - th\gamma) - \sigma_u, \quad (49)$$

$$\sigma_1 = \sigma_z = -\sigma_k \cdot e^{-\gamma} \cdot (1 + th\gamma), \quad (50)$$

где $\sigma_k = 174 \text{ МПа}$ – контактные напряжения, определяемые по формулам (33) - (39);

$\sigma_u = 32,96 \text{ МПа}$ – максимальные изгибные напряжения, определяемые при расчете бандажей на изгиб по формуле (19);

γ – эллиптическая координата, изменяемая от 0 до 1.

Определение главных напряжений в общем виде очень сложно, поэтому его обычно ведут по точкам, задавая эллиптической координате γ ряд значений от 0 до 1, например через 0,1. Затем рассчитываются эквивалентные напряжения для каждой точки. Наибольшее из эквивалентных напряжений считается расчетным.

Условие прочности

$$\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}} \leq [\sigma]. \quad (51)$$

Допускаемое напряжение принимается равным 400, 500 и 600 МПа, соответственно для сталей Ст 25. Ст 35и Ст45.

Максимальные и минимальные напряжения рассчитаем при помощи программы BANDAW 4 на ЭВМ. В этой же программе рассчитываются и эквивалентные напряжения.

Условие прочности выполняется:

$$102,56 < [400].$$

Заключение

В результате проведения расчетов барабанной печи были определены основные параметры. Принятые значения сведем в таблицу 9.

Таблица 9 – Основные технические характеристики барабанной печи

Длина барабана, <i>м</i>	10
Диаметр барабана, <i>м</i>	1
Толщина стенки барабана, <i>м</i>	0,01
Наружный диаметр бандажа, <i>м</i>	1,5
Внутренний диаметр бандажа, <i>м</i>	0,983
Ширина бандажа, <i>м</i>	0,08
Диаметр опорного ролика, <i>м</i>	0,4
Ширина опорного ролика, <i>м</i>	0,157
Диаметр упорного ролика, <i>м</i>	0,15
Ширина упорного ролика, <i>м</i>	0,02

4 Социальная ответственность

Введение

Социальная ответственность - ответственность перед людьми и данными им обещаниями (обязательствами), Это самое распространенное понимание ответственности, и при строгом рассмотрении любые другие виды ответственности являются формой социальной ответственности.

В данном дипломном проекте разрабатывается установка получения ферритовых магнитов. Объем помещения для данной установки составляет 2800 м³ (высота помещения 12 м). Общий объем производственного помещения на каждого работающего по нормам ТР ФЗ 384 должен быть не менее 15 м³, а площадь не менее 4,5 м². В цехе производству магнитов объем производственного помещения на одного работающего составляет 50 м³, а площадь 10 м².

При получении ферритовых магнитов используется метод порошковой металлургии. Для этого в цеху оборудован участок помола. Все аппараты для измельчения изолированы от контакта со средой помещения, но даже в аппаратах закрытого типа источником выделения мелкодисперсной пыли является нарушение герметичности аппаратов при открывании люков для загрузки или выгрузки сырья, или для визуального контроля. При эксплуатации аппаратов установки существуют опасности, связанные с воздействием высоких температур, вибрации, электрического тока, магнитных полей.

4.1 Производственная санитария

4.1.1 Характеристика применяемых веществ

Исходным сырьем для производства ферритовых магнитов является бариевый феррит BaO·6Fe₂O₃. Опасности для здоровья персонала в исходном состоянии он не представляет. Однако после последней стадии измельчения он может представлять опасность как мелкодисперсный порошок, который вызывает раздражающее и фиброгенное действие. Предельно допустимая концентрация 70 мг/м³. Класс опасности 4 (малоопасные). Также в технологическом процессе используется вода.

Мероприятия по защите от вредных веществ:

- 1) Герметизация оборудования за счет применения уплотнений;
- 2) Механизация и автоматизация процессов загрузки и выгрузки порошка;
- 3) Приточно-вытяжная вентиляция производственного помещения (с кратностью не менее 5 ч⁻¹);
- 4) Контроль состояния воздуха в помещении;
- 5) Применение средств индивидуальной защиты:

5.1) Защита органов дыхания:

- для защиты от пыли применяют противоаэрозольные респираторы бесклапанного типа одноразового пользования – «Лепесток»;

- наличие в цехе пневмошлема и пневмокаска для защиты органов дыхания в условиях повышенной концентрации пыли.

5.2) Защита органов зрения [6]:

- для защиты органов зрения от мелкодисперсных частиц бариевого феррита (при его транспортировки и загрузки) применяют защитные очки (типа ЗН1, ЗП8, ЗН3 и ЗН4);

5.3) Защита кожных покровов:

Для защиты кожных покровов от вредного воздействия мелкодисперсных порошков и воды применяют перчатки и рукавицы (хлопчатобумажные, льняные, резиновые). Для защиты от воды перед работой и после обеденного перерыва обязательно наносят на руки гидрофобную мазь или пасту (силиконовый крем, паста ИЭР 2, цинкостеариновая мазь), основой которых являются масла, эфиры, парафин;

4.1.2 Микроклимат производственного помещения

Метеорологические условия рабочей среды (микроклимат) оказывает влияние на процесс теплообмена и характер работы. Как было указано ранее, микроклимат характеризуется температурой воздуха, его влажностью и скоростью движения, а также интенсивностью теплового излучения. Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает его самочувствие, снижает производительность труда и приводит к заболеваниям.

Для выполнения работ средней тяжести Пб, которые ведутся в данном помещении, оптимальными, в соответствии с Сан ПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений», являются следующие условия:

- 1) температура воздуха в холодный период года от 17 до 19 °С, в теплый период года от 19 до 21 °С;
- 2) относительная влажность воздуха в течении года от 40 до 60 %;
- 3) скорость движения воздуха не более 0,2 м/с.

Мероприятия по нормализации параметров микроклимата:

1 Теплоизлучающее оборудование (печи) установлены на открытых площадках.

2 Автоматизация погрузочных (разгрузочных) работ, выполнение которых сопровождается избыточным теплообразованием в организме человека.

3 Дистанционное управление теплоизлучающими процессами и аппаратами, что исключает необходимость пребывания работающих в зоне инфракрасного облучения.

4 В цехе существуют места для отдыха рабочих. Они размещены вблизи рабочих мест и обеспечивают защиту от вредных для организма факторов.

5 Для предупреждения простудных заболеваний у входа в цех оборудованы тамбуры и защитные стенки – для предохранения от сквозняков, воздушные тепловые завесы – для защиты рабочих помещений от проникновения больших масс холодного воздуха через ворота производственных зданий и часто открываемые двери.

6 Существуют системы приточно-вытяжной вентиляции и парового отопления.

4.1.3 Освещение

Работа аппаратчика состоит в наблюдении и контроле за ходом технологического процесса и своевременном обнаружении отклонений от нормального режима. Поэтому на рабочих местах требуется рациональное производственное освещение, что обеспечивает психологический комфорт, предупреждает зрительную и общую утомляемость и профессиональные заболевания глаз человека.

В производственных помещениях в зависимости от источника света применяют два вида освещения: естественное и искусственное. Обычно их используют совместно, что создает систему совмещенного освещения. В данном цехе по производству ферритовых магнитов применяется:

1 Естественное боковое освещение, создаваемое прямыми солнечными лучами, рассеянными сводом небосвода. Интенсивность естественного освещения оценивают коэффициентом естественного освещения КЕО, показывающим, во сколько раз освещенность в помещении меньше наружной. Этот показатель выражают в процентах. Норма коэффициента естественного освещения из СНиП 23-05-95 $КЕО = 06 \%$ (для грубых работ – IV разряд зрительных работ).

Если выполняется нижеприведенное соотношение, то естественного освещения достаточно:

$$\frac{\sum S_{ОКОН}}{S_{ПОЛА}} = \frac{1}{6} \dots \frac{1}{8},$$

$$\frac{40}{240} = \frac{1}{6}.$$

Из соотношения видно, что естественного освещения достаточно.

При естественном освещении следует избегать попадания прямых солнечных лучей в помещение и особенно на рабочие поверхности пультов и щитов.

2 Искусственное освещение [6].

Искусственное освещение может быть общим, местным и комбинированным. Так как в цехе не требуется выполнение точных зрительных работ, то применяется общее освещение, которое обеспечивает требуемые условия видимости по всей освещаемой площади в результате равномерного расположения газоразрядных ламп на относительно большой высоте.

Оптимальный уровень освещенности интерьера цеха зависит от характера работ выполняемых аппаратчиком, и составляет по СНиП 23-05-95: для считывания показаний приборов 200 лк (зрительные работы IV разряда).

При организации искусственного освещения, так же как и при организации естественного освещения, необходимо избегать появления бликов.

4.1.4 Вентиляция и отопление

Вентиляция является важным средством создания нормальных санитарно-гигиенических условий на химических производствах. Движение воздуха имеет большое значение для теплорегуляции организма. При движении воздуха (даже при неизменной его температуре) резко увеличивается теплоотдача с поверхности тела путем конвекции, что снижает температуру кожи. Несмотря на герметизацию и теплоизоляцию аппаратуры, в воздух производственного помещения выделяются вредные и взрывоопасные пары, пыль, избытки тепла и влаги. Чтобы устранить эти выделения и довести их содержание в воздухе до ПДК, применяют вентиляцию.

Мероприятия по нормализации вентиляции и отопления [6]

1 Предусмотрены устройства воздухозабора для приточных систем из мест, исключая попадание в систему вентиляции взрывоопасных паров и газов во всех режимах работы производства.

2 Организованная естественная вентиляция, или аэрация, обеспечивает воздухообмен в требуемых объемах и регулируемый в соответствии с метеорологическими условиями.

3 Устройства выбросов воздуха от систем общеобменной и аварийной вентиляции обеспечивает эффективное рассеивание и исключает возможность взрыва в зоне выброса и образование взрывоопасных взвесей над территорией предприятия.

4 Для систем аварийной вентиляции предусмотрено их аварийное включение по срабатыванию установленных в помещении сигнализаторов дозрывных концентраций или от газоанализаторов при превышении ПДК взрывоопасных пылей.

5 В системах вентиляции предусмотрены меры и средства, исключаящие попадание взрывоопасных паров и газов по воздуховодам из одного помещения в другое.

6 В помещениях управления и в производственных помещениях предусмотрена сигнализация об исправной работе вентиляционных систем.

7 Существует паровое отопление совмещенное с приточной вентиляцией.

4.1.5 Шум

Источником шума в цехе получения ферритовых магнитов являются вибромельницы, молотковая мельница, виброгрохот, электродвигатели, вентиляция. Шум влияет на весь организм человека, вызывая быструю утомляемость, снижение работоспособности, раздражительность, нарушение сна. Длительное воздействие шума приводит к нарушению правильного функционирования слуховых органов и к глухоте. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» величина уровня звука в производственных помещениях не должна превышать 85 дБ (в два раза больше уровня шума нормальной речи) [14].

Мероприятия по защите от шума [6]:

1 Коллективные. Уменьшение шума за счет рационального размещения оборудования. Мельницы расположены в отдельных помещениях со звукоизолирующими стенами (бетон). Вентиляторы оборудованы в чердачных помещениях. Вокруг электродвигателей установлены звукоизолирующие экраны.

2 Индивидуальные. СИЗ от шума являются ушные вкладыши, наушники и шлемофоны. Ушные вкладыши – антифоны, вставляют в слуховой канал уха. Наиболее известными являются вкладыши «Беруши» (снижают уровень звукового давления на 10...15 дБ). На участке помола применяют также наушники и противошумные каски ВЦНИОТ-2, которые снижают уровень звукового давления на 7...38 дБ в диапазоне частот 125...8000 Гц [14];

4.1.6 Вибрация

При производстве ферритовых магнитов необходим помол материала. Он производится на вибрационных мельницах. Эти аппараты являются источниками возникновения вибраций.

Вибрация представляет собой процесс распространения механических колебаний в твердом теле. Длительное воздействие вибрации ведет к развитию профессиональной вибрационной болезни. Вибрация, воздействуя на машинный компонент системы ЧМ (человек – машина), снижает производительность технических установок (за исключением специальных случаев) и точность считываемых показаний приборов, вызывает знакопеременные приводящие к усталостному разрушению напряжения в конструкции и т. д.

Особенно вредны вибрации с вынужденной частотой, совпадающей с частотой собственных колебаний тела человека или его отдельных органов (для тела человека 6...9 Гц, головы 6 Гц, желудка 8 Гц, других органов – в пределах 25 Гц).

Частотный диапазон расстройств зрительных восприятий лежит между 60 и 90 Гц, что соответствует резонансу глазных яблок.

Санитарные нормы устанавливают предельно допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий (таблица 10).

Таблица 10 – Допустимые величины вибрации в производственных помещениях предприятий [14]

Амплитуда колебаний вибрации, мм	Частота вибрации, Гц	Скорость колебательных движений, см/с	Ускорение колебательных движений, см/с ²
0,6–0,4	До 3	1,12–0,76	22–14
0,4–0,15	3–5	0,76–0,46	14–15
0,15–0,05	5–8	0,46–0,25	15–13
0,05–0,03	8–15	0,25–0,28	13–27
0,03–0,009	15–30	0,28–0,17	27–32
0,009–0,007	30–50	0,17–0,22	32–70
0,007–0,005	50–75	0,22–0,23	70–112
0,005–0,003	75–100	0,23–0,19	112–120
* 1,5–2	45–55	1,5–2,5	25–40

* При таких параметрах вибрации даже сверхпрочные клепочные конструкции до полного своего разрушения выдерживают не более 30 минут.

Мероприятия по защите от вибрации [14]

Для борьбы с вибрацией машин и оборудования и защиты работающих от вибрации используют различные методы. Вибромельницы установлены на нижнем уровне цеха, на виброгасящем фундаменте. Для снижения вибрации широко используют эффект вибродемпфирования – превращение энергии механических колебаний в другие виды энергий, чаще всего в тепловую. С этой целью на опорах рам вибромельниц установлен набор резиновых шайб, которые демпфируют колебания. Для ослабления передачи вибрации от вибромельниц полу, рабочему месту, сиденью и т. д., также применяются стальные пружины.

В качестве средств индивидуальной защиты при работе с вибромельницами необходимо использовать специальные ботинки на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

Для снижения опасного воздействия вибрации на организм человека является правильная организация режима труда и отдыха, постоянное медицинское наблюдение за состоянием здоровья, лечебно-профилактические мероприятия, такие как гидропроцедуры (теплые ванночки для рук и ног), массаж рук и ног, витаминизация и др.

4.2 Промышленная безопасность

4.2.1 Безопасность технологического процесса

При работе на установке по производству ферритовых магнитов возможны термические ожоги. Источником термических ожогов являются прокалочные и сушильные печи, в которых процессы ведутся при высоких температурах (до 1000 °С).

Мероприятия по защите от термических ожогов [6]:

Для предотвращения термических ожогов, аппараты оснащаются теплоизолирующими кожухами.

Расчет теплоизоляции барабанной печи отжига [21].

Отжиг в печи проходит при температуре $t_{вн}=1000$ °С. В качестве теплоизоляционного материала принимаем диатомит инзенский по ГОСТ 2694-78. Температура окружающего воздуха $t_o=20$ °С. Температура поверхности изоляции не должна превышать $t_{ст}=50$ °С. Коэффициент теплоотдачи в окружающую среду конвекцией

Определим толщину теплоизоляции по [6]. Так как имеем цилиндрическую однослойную стенку, то применяем следующее уравнение теплопроводности:

$$q_{ПOT} = \frac{\lambda_{ТЕПЛОИЗ}}{\delta_{ТЕПЛОИЗ}} \cdot (t_{ВН} - t_o) = \alpha_{\Sigma} \cdot (t_{СТ} - t_o), \quad (6.4)$$

Для приближенных расчетов коэффициента теплоотдачи от стенки к воздуху при температуре наружной поверхности ниже 150 °С пригодно уравнение В.П.Линчевского [6]:

$$\alpha_{\Sigma} = 9,74 + 0,07 \cdot \Delta t, \quad (5)$$

где $\Delta t = (50 - 20) = 30$ °С – разность температур стенки и воздуха;

Тогда

$$\alpha_{\Sigma} = 9,74 + 0,07 \cdot 30 = 11,84 \text{ Вт/м}^2,$$

Находим коэффициент удельной теплопроводности материала теплоизоляции:

$$\lambda_{ТЕПЛОИЗ} = 0,09 + 0 \cdot 522,5 = 0,09 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}.$$

$$q_{ПOT} = \alpha_{\Sigma} \cdot (t_{ВН} - t_o) = 11,84 \cdot (50 - 20) = 355,2 \text{ Вт/м}^2,$$

$$\delta_{\text{ТЕПЛОИЗ}} = \frac{\lambda_{\text{ТЕПЛОИЗ}} \cdot (t_{\text{ВН}} - t_{\text{О}})}{q_{\text{ПОТ}}}, \quad (6)$$

$$\delta_{\text{ТЕПЛОИЗ}} = \frac{0,08 \cdot (1000 - 50)}{355,2} = 0,2 \text{ м.}$$

Барaban печи обкладывается диатомитовым инзенским кирпичом с толщиной стенки $\delta_{\text{ТЕПЛОИЗ}} = 0,2 \text{ м.}$

4.2.2 Электробезопасность

Химическая промышленность, как и многие другие отрасли, потребляет большое количество электроэнергии, применяемой почти на всех участках производства. Опасность поражения электрическим током специфична тем, что не виден непосредственный источник опасности.

Помещение, в котором находится установка, в соответствии с ПУЭ, относится к помещениям с особой опасностью электропоражения, так как оно характеризуется наличием следующих факторов: помещение с повышенной влажностью, токопроводящими полами, высокой температурой, а также возможностью одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям и технологическим аппаратам с одной стороны и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой [14].

Поражение человека электрическим током может произойти при прикосновениях: к токоведущим частям, находящимся под напряжением; отключенным токоведущим частям, на которых остался заряд или появилось напряжение в результате случайного включения; к металлическим нетоковедущим частям электроустановок после перехода на них напряжения с токоведущих частей [14].

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, зануление, средства индивидуальной защиты, сигнализация и плакаты.

Для обеспечения недоступности токоведущих частей оборудования и электрических сетей применяют сплошные и сетчатые ограждения.

При обслуживании и ремонте электроустановок и электросетей обязательно использование средств индивидуальной защиты, к которым относятся: основные – изолирующие штанги, изолирующие и электроизмерительные клещи, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками, указатели напряжения; и дополнительные – диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, калоши, коврики. Для предупреждения персонала о наличии напряжения или его отсутствия в электроустановках применяется звуковая или световая сигнализация.

4.2.3 Пожаровзрывобезопасность

4.2.3.1 Категория помещения по пожаровзрывоопасности и класс пожаровзрывоопасных зон

Здания и оборудование спроектированы с учетом противопожарных требований. Все помещения согласно НПБ 105 – 95 подразделяются на категории по взрывопожарной и пожарной опасности.

Помещения цеха по получению ферритовых магнитов относятся к категории В – пожароопасные помещения, связанные с применением веществ и материалов способных при взаимодействии с водой, воздухом или друг с другом только гореть [ТР ФЗ – 123].

Распределение производств по категориям пожарной опасности имеет большое значение для создания безопасных условий труда, особенно на стадии проектирования.

Согласно «Правил устройства электроустановок», все помещения и установки, опасные в отношении пожара или взрыва, подразделяются по степени пожарной опасности на классы. Помещения цеха по производству магнитов относятся к классу П-II (горючие пыли или волокна с НКПВ более 65 г/м³) [14].

4.2.3.2 Возможные причины пожаров и взрывов

При работе на установке по получению ферритовых магнитов возможны пожары в результате нерегламентированного ведения процесса. При большом скоплении пыли, вследствие нарушения вентиляции, возможно ее возгорание.

4.2.3.3 Мероприятия по предупреждению пожаров и взрывов

1 Работы в пожаро- и взрывоопасных производствах ведутся в соответствии с утвержденными технологическими регламентами, рабочими инструкциями и инструкциями по технике безопасности.

2 Установлены противопожарные заслонки для защиты вентиляционных воздуховодов, которые срабатывают автоматически во время пожара.

3 Во избежание попадания пожаро- и взрывоопасных веществ в канализационные трапы, лотки, траншеи, ямы, что создает опасность образования в них взрывоопасных паро- и газовоздушных смесей, а также возможность их попадания в другие смежные производственные помещения, установлены гидравлические затворы.

4 Все возможные источники вредных выделений максимально герметизированы, оборудованы местными укрытиями с отсосами, препятствующими выделению вредных паров, газов или пыли. Такие помещения оборудованы аварийной вытяжной вентиляцией и сигнализирующими устройствами.

Эта система также предназначена для решения следующих задач: предупреждения загорания (или взрыва), тушения возникшего пожара, локализации пожара. При возникновении опасной ситуации (загорание, быстрый

рост температуры и др.) датчики-извещатели, которые могут регистрировать дым, свет, температуру, обнаруживают это нарушение, оповещают технологический персонал звуковым и световым сигналом и включают механизмы устройств пожаротушения, вследствие чего в зону опасной ситуации поступает огнетушащее вещество (пена, вода, газ, порошок или флегматизатор).

На установке монтируется шесть дымовых датчиков и два световых.

6 в помещении цеха находятся ручные огнетушители: пенные (типа ОВП-5, ОХП-10), газовые углекислотные (типа ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), порошковые (типа ОПС-10) и передвижные одно- двухбаллонные огнетушители (типа УП-1М, УП-2М), а также ящики с песком, лопаты и пожарные ведра.

4.3 Охрана окружающей среды

4.3.1 Анализ влияния рассматриваемой технологии на биосферу

Химические предприятия являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. Все отходы химического производства подвергаются обязательной обработке. Это касается и сточных вод, и выбросов в атмосферу. Выбросы в атмосферу химических веществ является по существу невозвратимой потерей ценных реагентов и наносит огромный ущерб окружающей среде [14].

Источники загрязнения можно разделить на две группы:

- 1) места специального выброса газа и пыли;
- 2) места неограниченного выброса газа и пыли через неплотности в аппаратуре, коммуникационных линиях.

Промышленные выбросы в атмосферу наносят большой экономический ущерб народному хозяйству. Основными причинами загрязнения атмосферного воздуха являются выбросы газов, пыли без достаточной очистки от вредных примесей, неорганизованные выбросы через неплотности, особенно при открытых процессах загрузки или выгрузки продуктов.

Имеет место также загрязнение водных объектов. Из цеха получения магнитов в водные объекты через ливневую канализацию поступают водные растворы содержащие примеси в виде частиц феррита бария. В канализацию также поступает вода от мытья полов помещений. Из ливневой канализации завода по графику отбирают пробы, которые анализируются в технологической лаборатории завода на содержание вредных веществ согласно графику. Воды санпропускника и санитарных узлов поступают в хозяйственно-фекальную канализацию цеха.

4.3.2 Мероприятия по защите окружающей среды

- 1 Автоматизация и механизация производственных процессов загрузки и выгрузки порошка бариевого феррита.
- 2 Герметизация аппаратов.
- 3 Очистка выбросов.

3.1 Воздухообмен до 1000 м³/ч – вытяжная вентиляция из рабочего пространства печей прокалики и сушки. Очистка выбросов из этих печей осуществляется на фильтрах В – 04.

3.2 Воздухообмен до 5000 м³/ч – вытяжная вентиляция с участка дробления. Очистка воздуха на конических циклонах ЦН – 15.

4 Воздухообмен во всех остальных помещениях осуществляется за счет общеобменной приточно-вытяжной вентиляции и воздух без очистки выбрасывается в атмосферу. В точках контроля отбор проб осуществляется на фильтрах непрерывным отбором пыли путем прокачки воздуха в заданных объемах с последующим определением количества пыли весовым методом и периодическим анализом его состава.

4.3.3 Мероприятия по защите водных объектов

1 Системы канализации технологических объектов обеспечивают удаление и очистку химически загрязненных технологических, сливных и других стоков, образующихся как при регламентированных режимах работы, так и при аварийных выбросах.

2 Запрещается сброс этих стоков в магистральную сеть канализации без предварительной очистки, за исключением тех случаев, когда магистральная сеть предназначена для приема таких стоков.

3 Меры по очистке стоков и удалению взрывопожароопасной концентрации паров и пыли.

4 Сооружения локальной очистки на входе и выходе потоков сбросов оснащены средствами контроля содержания взрывопожароопасных продуктов и сигнализацией превышения допустимых значений.

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

4.4.1 Анализ возможных ЧС природного и техногенного характера

Чрезвычайные ситуации можно классифицировать по происхождению: ЧС природного (землетрясения; наводнения; оползни; широко распространенные инфекционные заболевания людей) и техногенного характера – связанных с производственной деятельностью человека (разгерметизация систем повышенного давления; нерегламентированное хранение и перевозка взрывчатых веществ, ЛВЖ, переохлажденных и нагретых жидкостей; разряды статического электричества). Чрезвычайные ситуации техногенного характера могут протекать с загрязнением и без загрязнения окружающей среды. При ЧС на производстве ферритовых магнитов, отсутствует опасность вредных выбросов, и загрязнения окружающей среды. Из ЧС природного характера необходимо принимать во внимание: природные пожары, эпидемии, космические ЧС, оползни и наводнения, ураганы.

4.4.2 Мероприятия по предупреждению и устранению последствий ЧС

1 Разработка технических и организационных мероприятий, уменьшающих вероятность реализации опасного поражающего потенциала современных технических систем. В рамках этого направления технические системы снабжают защитными устройствами – средствами взрыво- и пожарозащиты технологического оборудования, молниезащиты, локализации и тушения пожаров.

2 Подготовка объекта, обслуживающего персонала, служб гражданской обороны и населения к действиям в условиях ЧС, для создания которых нужны детальные разработки сценариев возможных аварий и катастроф на конкретных объектах.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Расчет производственной мощности оборудования цеха

Производственная мощность цеха определяется максимально возможным выпуском продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании оборудования и производственных площадей.

Производственная мощность определяется по основному оборудованию, определяющему пропускную способность данной стадии производства, причем, в расчет берется все основное оборудование (как действующее, так и бездействующее вследствие ремонта, неисправности) за исключением резервного.

Для расчета производственной мощности предварительно устанавливают

- режим работы цеха;
- эффективный фонд времени работы оборудования.

Режим работы цеха или предприятия характеризуется прерывной или непрерывной работой рабочей недели, числом смен работы в сутках и продолжительностью рабочей смены в часах.

В тех производствах, где по характеру протекания технологического процесса остановка оборудования недопустима, применяется непрерывная рабочая неделя (без остановки в выходные дни). В остальных случаях прерывная рабочая неделя.

При непрерывной неделе на большинстве химических производств работа осуществляется в 3 смены по 8 часов или в 4 смены по 6 часов. При прерывной неделе работа может проводиться в одну, две и более смены.

Эффективный фонд времени оборудования показывается только по ведущему оборудованию, по которому рассчитывается производственная мощность цеха.

Следует различать календарный фонд ($T_{\text{кал}}$), номинальный (режимный) фонд ($T_{\text{н}}$) и эффективный фонд времени работы оборудования ($T_{\text{эф}}$).

Календарный фонд времени принят во всех технико-экономических расчетах для химических производств равным 360 дням или 8640 часов.

Номинальный фонд времени равен числу дней (часов) работы оборудования в зависимости от установленного режима работы данного производства без учета простоев оборудования из-за ремонтов.

В непрерывных производствах следует исходить из пятидневной рабочей недели. При работе в одну смену продолжительность смены устанавливается, как правило, 8 часов. Для того, чтобы обеспечить среднюю продолжительность пятидневной рабочей недели в 40 часов, что позволяет работникам за 5 дней отработать 40 рабочих часов, как это предусмотрено трудовым законодательством. В этом случае $T_{\text{н}}=360-103$ выходных и 11 праздничных=246 дням по 8 часов.

В рассматриваемом случае цех работает в 3 смены, продолжительность смены 8 часов. Чтобы обеспечить среднюю продолжительность пятидневной рабочей недели в 40 часов, применяется график работы, по которому каждая

восьмая суббота является рабочей. Следовательно, в рассматриваемом случае число выходных дней за год равно 96 дням $\left(103 - \frac{52}{8}\right)$, а $T_n=360$ дн – 96

выходных – 11 праздничных = 253 дня.

Эффективный фонд времени работы оборудования равен номинальному времени за вычетом остановок на ремонты ($T_{рем}$), производимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР).

$$T_{эф}=T_n-T_{рем}$$

Поэтому определения эффективного фонда времени работы оборудования приводится принятая система ППР, которая включает текущее обслуживание, а также текущие и капитальные ремонты оборудования.

Для расчета необходимы нормативы системы ППР:

- категория ремонтной сложности ведущего оборудования;
- продолжительность и структура ремонтного цикла;
- продолжительность межремонтных периодов;
- нормы простоя оборудования в ремонтах на одну ремонтную единицу.

Таблица 11 – Нормативы системы ППР

Наименование оборудования	Категория ремонтной сложности	Структура ремонтного цикла	Нормы простоя оборудования на одну Re, час
Вибромельница	2,0	К–14(3ТО–ТР)–3ТО–К К через 60 месяцев ТР через 4 месяца ТО через 1 месяц	8,0 2,5 0,35
Печь барабанная прокалочная	17,0	К–3(2ТО–ТР)–2ТО–К К через 24 месяца ТР через 6 месяцев ТО через 2 месяца	8,0 2,5 0,35
Молотковая мельница	2,6	К–5(5ТО–ТР)–5ТО–К К через 36 месяцев ТР через 6 месяцев ТО через 1 месяц	8,0 2,5 0,35
Печь сушильная полочная	2,8	К–3(2ТО–ТР)–2ТО–К К через 24 месяца ТР через 6 месяцев ТО через 2 месяца	8,0 2,5 0,35
Грохот ситовой	3,0	К–8(3ТО–ТР)–3ТО–К К через 36 месяцев ТР через 4 месяца ТО через 1 месяц	8,0 2,5 0,35
Пресс	4	К–8(3ТО–ТР)–3ТО–К К через 36 месяцев ТР через 4 месяца ТО через 1 месяц	8,0 2,5 0,35

При наличии в отделении 3-х или 4-х единиц однотипного ведущего оборудования, количество ремонтов в год определяют по формуле

$$P_{(K,TP,TO)} = \frac{T_{КАЛ} \cdot H \cdot K_{И} \cdot A_{(K,T,TO)}}{Ц},$$

где $P_{(K,TP,TO)}$ – количество капитальных ремонтов, текущих ремонтов и технического обслуживания в год;
 H – количество однотипного оборудования;
 $K_{И}$ – коэффициент использования оборудования по календарному времени. По данным большинства предприятий $K_{И} = 0,7-0,9$;
 $A_{(K,TP,TO)}$ – количество капитальных, текущих ремонтов и технического обслуживания в ремонтном цикле;
 $Ц$ – продолжительность ремонтного цикла.

Продолжительность простоя оборудования в ремонтах ($T_{РЕМ}$) определится:

$$T_{РЕМ} = Re \cdot (P_K \cdot H_{ПР.К} + P_{TP} \cdot H_{ПР.ТР} + P_{ТО} \cdot H_{ПР.ТО}),$$

где Re – категория ремонтосложности оборудования;
 $H_{ПР.К}, H_{ПР.ТР}, H_{ПР.ТО}$ – нормы простоя в часах на 1 Re соответственно в капитальном, текущем ремонтах и техническом обслуживании.

На основе изложенных расчетов составляется баланс времени работы оборудования (таблица 12).

Таблица 12 – Баланс рабочего времени оборудования, час

№	Показатели	Количество часов
1	Календарный фонд времени	8640
2	Режимные потери рабочего времени	
	– выходные дни	2304
	– праздничные дни	264
3	Номинальный фонд рабочего времени	6072
4	Простои оборудования в ремонтах	
	– капитальном	108
	– текущем	180
	– техническом обслуживании	90
5	Итого простоев	378
6	Эффективное время работы оборудования за год	5694

Производственная мощность отделения

$$M = H \cdot N \cdot T_{\text{эф}},$$

где N – часовая производительность оборудования.

$$M = 1 \cdot 1234 \cdot 5694 = 7026396 \text{ кг} \cdot \text{ч}.$$

Для характеристики использования оборудования необходимо рассчитать экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования ($K_{\text{экт}}$) определяется как отношение эффективного фонда времени работы оборудования ($T_{\text{эф}}$) к номинальному ($T_{\text{н}}$), то есть

$$K_{\text{экт}} = \frac{T_{\text{эф}}}{T_{\text{н}}} = \frac{5694}{6072} = 0,94.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования ($K_{\text{инт}}$) определяется по формуле:

$$K_{\text{инт}} = \frac{q_{\text{пл}}}{q_{\text{мах}}},$$

где $q_{\text{пл}}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени или за один цикл, установления в материальном балансе технологической части проекта;

$q_{\text{мах}}$ – максимальная производительность в единицу времени или за цикл единицы оборудования, подобранного по нормам в технологической части проекта.

$$K_{\text{инт}} = \frac{1234}{1250} = 0,99.$$

Интегральный коэффициент использования мощности ($K_{\text{и.м}}$) определяется как:

$$K_{\text{и.м}} = K_{\text{экт}} \cdot K_{\text{инт}},$$

$$K_{\text{и.м}} = 0,94 \cdot 0,99 = 0,93.$$

Производственная программа цеха определяется по выражению:

$$ПП = K_{\text{и.м}} \cdot M,$$

$$ПП = 0,93 \cdot 7026396 = 6534548,3 \text{ кг} / \text{год} = 6535 \text{ т} / \text{год}.$$

5.2 Расчет капитальных затрат по проектируемому цеху

5.2.1 Стоимость строительства здания

Объем цеха, в котором находится установка по производству ферритовых магнитов, равен 2800 м³.

Стоимость 1 м³ производственной площади составляет 7 тыс. руб.

Следовательно, стоимость цеха составит $S = 7000 \cdot 2800 = 19,6$ млн. руб.

5.2.2 Определение стоимости оборудования

Стоимость оборудования исчисляется по ценам действующих прейскурантов. Расчет стоимости оборудования производится в таблице 13

Таблица 13 – Расчет стоимости оборудования [www.upmt.ru; ПРОММАШТЕХНОЛОГИЯ]

Наименование оборудования	Количество	Масса оборудования, кг		Цена 1 кг.руб	Стоимость оборудования	
		единицы	общая		единицы, тыс. руб.	общая, тыс. руб.
Вибромельница	2	2000	4000	65	80	160
Печь барабанная прокалочная	1	12000	12000	75	780	780
Молотковая мельница	1	3000	3000	65	195	195
Печь сушильная полочная	2	1000	2000	60	60	120
Грохот ситовый	1	1500	1500	60	90	90
Пресс	1	3500	3500	60	210	210
Итого					1415	1555

Для полноты учета сметной стоимости оборудования следует к полученному итогу по таблице 13 добавить стоимость неучтенного оборудования в размере 10–25% от стоимости учтенного.

Дополнительно к оптовой стоимости оборудования добавляются транспортные расходы, заготовительно-складские затраты и стоимость запчастей,

которые принимаются суммарно в размере 8–10% от оптовой стоимости оборудования, включая неучтенное.

Далее подсчитывается стоимость монтажа оборудования, трубопроводов, спецработ и КИП, исходя из следующих укрупненных нормативов (в % от суммы стоимости оборудования и транспортных, заготовительно-складских расходов и стоимости запчастей):

Монтаж оборудования – 15-20%;

Монтаж трубопроводов – 25-30%;

КИП и их монтаж – 20-25%;

Спецработы – 10-15%.

В спецработы входят фундаменты под оборудование, антикоррозионные работы, изоляция, насадка аппаратуры и др.

На основе произведенных расчетов итоговая стоимость оборудования приводится в таблице 14

Таблица 14 – Итоговая стоимость оборудования, тыс. руб.

Наименование расходов	Вибро мельница	Печь прокаточная	Молотковая мельница	Печь сушильная	Грохот	Пресс
1. Расчетная стоимость	160	780	195	60	90	210
2. Неучтенное оборудование	24	117	29,25	9	13,5	31,5
3. Итого	184	897	224,25	69	103,5	241,5
4. Транспортно-заготовительные и складские расходы	18,4	89,7	22,425	6,9	10,5	24,15
5. Итого	202,4	986,7	246,675	75,9	113,85	265,65
6. Монтаж оборудования	30,36	148,005	37,001	11,385	17,078	39,848
7. Монтаж трубопроводов	50,6	246,675	61,669	18,975	28,463	66,413
8. КИП и их монтаж	40,48	197,34	49,335	15,18	22,77	53,13
9. Спецработы	20,24	98,67	24,668	7,59	11,385	26,565
10. Итого	344,08	1677,39	419,348	128,94	193,996	451,606
11. Норма амортизационных отчислений, %	8,3	12,4	8,3	5,0	14,3	10,0
12. Амортизационные отчисления	28,559	207,996	34,806	6,447	27,741	45,161

5.3 Расчет численности промышленно-производственного персонала

Расчет численности промышленно-производственного персонала производится по следующим основным категориям:

- рабочие (основные и вспомогательные);
- ИТР;
- Служащие.

Расчет ведется на основе следующих данных: режима данного производства; графика сменности данного участка, норм обслуживания (для повременщиков); норм выработки (для сдельщиков).

Для определения численности работающих необходимо установить годовой фонд работы одного среднесписочного рабочего. Он зависит от принятого режима работы цеха и продолжительности рабочего дня.

На данном предприятии, продолжительность рабочего дня 8 часов в каждый из пяти рабочих дней и дополнительно с отработкой в субботу каждой восьмой недели. Работа осуществляется четырьмя производственными бригадами. В таблице 15 приведен баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего в днях.

Таблица 15 – Баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего в днях

Наименование затрат рабочего времени	Количество дней, при 8 часовой смене
Календарное время	365
Выходные дни	96
Праздничные дни	11
Номинальный фонд рабочего времени	258
Планируемые невыходы на работу:	
– очередной отпуск;	24
– болезни;	3,5
– выполнение государственных и общественных обязанностей;	1
– прочие невыходы по разрешению администрации	0,5
Годовой фонд рабочего времени одного рабочего (в среднем)	229

При расчете численности рабочих различают сменный состав рабочих, явочную, штатную и списочную численность рабочих.

Сменный состав для аппаратурных процессов определяется:

$$H_{CM} = \frac{n}{H_{OBSL}},$$

где n – количество обслуживаемых аппаратов;
 H_{OBSL} – число аппаратов, обслуживаемых одним рабочим, норма обслуживания.

Сменный состав для рабочих сдельщиков определяется:

$$Ч_{CM} = \frac{B_{CM}}{H_{ВЫР} \cdot K_H},$$

где B_{CM} – сменное задание по участку;
 $H_{ВЫР}$ – норма выработки в смену;
 K_H – коэффициент, учитывающий перевыполнение норм ($K_H=1,05-1,20$).

Явочное число рабочих определяется:

$$Ч_{ЯВ} = Ч_{CM} \cdot S,$$

где S – число смен работы в сутках.

Штатная численность определяется:

$$Ч_{ШТ} = Ч_{ЯВ} \cdot \frac{T_{КАЛ}}{T_{НОМ}},$$

где $T_{КАЛ}$ – календарный фонд времени, дн;
 $T_{НОМ}$ – номинальный фонд времени одного рабочего (по балансу), дн.

Списочная численность определяется:

$$Ч_{СП} = Ч_{ЯВ} \cdot \frac{T_{ЭФ.ОБОР.}}{T_{ЭФ.РАБ.}},$$

где $T_{ЭФ.ОБОР.}$ – эффективные фонд времени работы оборудования;
 $T_{ЭФ.РАБ.}$ – эффективный фонд рабочего времени одного рабочего.

Разница между списочным и явочным числом рабочих составляет дополнительное количество рабочих для подмены, а также замены невыходов в

связи с болезнями, отпусками и другими планируемыми целодневными потерями рабочего времени.

Расчет численности основных рабочих приведен в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет численности основных производственных рабочих

Наименование профессии	Тарифный разряд	Число рабочих в смену	Количество смен работы в сутках	Явочная численность	Коэффициент подмены	Списочная численность
Аппаратчик	9	4	3	12	1,2	15
Приборист	7	3	3	9	1,2	11
Слесарь-механик	7	4	3	12	1,2	15

Расчет численности вспомогательных рабочих производится в соответствии с типовыми штатными нормативами, которые учитывают конкретные условия производства.

Для вспомогательных рабочих, занятых в одну или две смены явочный состав равен списочному.

Численность инженерно-технических работников, служащих, МОП устанавливается по штатному расписанию. Штатное расписание содержит перечень всех должностей и число штатных единиц. При определении количества начальников смен, мастеров в непрерывных производствах необходимо предусматривать подмену на выходные дни.

Расчет численности ИТР, служащих и МОП сведен в таблицу 17.

Таблица 17 – Расчет численности ИТР, служащих и МОП.

Наименование должностей	Тарифный разряд	Количество смен в сутках	Число штатных единиц, чел	Штатная численность, чел
Начальник отделения	12	1	1	1
Инженер-технолог (сменный)	11	3	1	3
Мастер-контролер	10	3	1	3
Уборщик помещений	4	1	1	1

5.4 Расчет фонда заработной платы промышленно-производственного персонала

Расчет фонда заработной платы для основных и вспомогательных рабочих производится отдельно. Это вызвано тем, что заработная плата (с начислением) основных производственных рабочих входит в состав статей «цеховые расходы» и «расходы по содержанию и эксплуатации оборудования».

Фонд заработной платы рассчитывается исходя из действующих тарифных условий, запроектированной численности основных и вспомогательных рабочих и их фонда рабочего времени.

Общий фонд заработной платы рабочих за год равен:

$$Z_{\text{ГОД}} = Z_{\text{ОСН}} + Z_{\text{ДОП}},$$

где $Z_{\text{ОСН}}$ – основной фонд заработной платы рабочих, включает оплату за отработанное время, руб.;

$Z_{\text{ДОП}}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, включает оплату за неотработанное время (оплата очередного отпуска, времени выполнения государственных обязанностей, ученических дней и т.п.).

Основной фонд заработной платы для рабочих-повременщиков рассчитывают:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ТАР}} + P_p + D_{\text{Н.ВР}} + D_{\text{ПР.ДН}} + D_{\text{БРИГ}},$$

где $Z_{\text{ТАР}}$ – тарифный фонд заработной платы, руб.;

P_p – оплата премий, руб.;

$D_{\text{Н.ВР}}$ – доплата за работу в ночное время, руб.;

$D_{\text{ПР.ДН}}$ – доплата за работу в праздничные дни, руб.;

$D_{\text{БРИГ}}$ – доплата не освобожденным бригадирам, руб.

Для рабочих-сдельщиков основной фонд заработной платы определяется:

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ТАР}} + Z_{\text{СП}} + P_p + D_{\text{Н.ВР}} + D_{\text{ПР.ДН}} + D_{\text{БРИГ}},$$

где $Z_{\text{СП}}$ – сдельный приработок за перевыполнение норм выработки, принимается в размере 10–15% от тарифного фонда заработной платы.

Тарифный фонд заработной платы ($Z_{\text{ТАР}}$) определится:

$$Z_{\text{ТАР}} = \sum_{i=n} Ч_{\text{СП}} \cdot T_{\text{СТ}} \cdot T_{\text{ЭФ}},$$

где $Ч_{СП}$ – списочная численность рабочих данного разряда;

$T_{СТ}$ – дневная тарифная ставка данного разряда;

$T_{ЭФ}$ – эффективный фонд рабочего времени одного среднесписочного рабочего.

Размер премий принимается 15 % тарифного фонда заработной платы.

Доплата за работу в ночное время может быть рассчитана или прямым путем – умножением планируемого количества отработанных ночных часов на соответствующую доплату за каждый час ночной работы (40% часовой тарифной ставки соответствующего разряда) или в процентах от тарифного фонда.

Доплата за работу в праздничные дни производится в удвоенном размере при сдельной оплате труда, при повременной оплате – в размере удвоенной тарифной ставки.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит: $(8 : 365) \cdot 100 = 2,19 \%$.

Доплата неосвобожденным бригадирам:

– при численности бригады до 10 человек – 10 % тарифной ставки бригадира;

– при численности бригады свыше 10 человек – 15 % тарифной ставки.

Фонд дополнительной заработной платы ($З_{ДОП}$) рассчитывается путем умножения основного фонда заработной платы ($З_{ОСН}$) на соотношение всех невыходов (очередной и ученический отпуск, гособязанности, за исключением невыходов по болезни и декретных отпусков). В среднем в химической промышленности фонд дополнительной заработной платы составляет около 10 % от фонда основной заработной платы.

В фонд дополнительной заработной платы для предприятий расположенных в восточных и северных районах страны, включается также доплата (надбавка) по районному коэффициенту. Эти коэффициенты не образуют новых тарифных ставок или должностных окладов, они установлены в размерах 1,15–1,20 и зависят от места расположения предприятия.

Начисление надбавки производится в процентах к заработку работающего.

Расчет фонда заработной платы для вспомогательных рабочих производится аналогично расчету фонда заработной платы для основных производственных рабочих. Результаты расчета сведены в таблицу 17.

Для расчета заработной платы ремонтного персонала необходимо предварительно рассчитать трудоемкость ремонтных работ.

Трудоемкость работ по ремонту и техническому обслуживанию определяется по формулам:

– трудоемкость слесарных работ

$$T_{P.сл} = (t_{сл.К} \cdot n_K + t_{сл.Т} \cdot n_T + t_{сл.ТО} \cdot n_{ТО}) \cdot Re,$$

где $t_{сл.К}, t_{сл.Т}, t_{сл.ТО}$ – нормы времени на 1Re слесарных работ при капитальном, текущем ремонтах и техническом обслуживании оборудования, в чел-ч;

Re – категория ремонтосложности данного класса оборудования;
 $n_K, n_T, n_{ТО}$ – количество ремонтов в год;

– трудоёмкость станочных работ для те же видов работ

$$T_{P.cm} = (t_{cm.K} \cdot n_K + t_{cm.T} \cdot n_T + t_{cm.ТО} \cdot n_{ТО}) \cdot Re,$$

– трудоёмкость прочих (сварочных, футеровочных и других) работ для тех же видов работ

$$T_{P.np} = (t_{np.K} \cdot n_K + t_{np.T} \cdot n_T + t_{np.ТО} \cdot n_{ТО}) \cdot Re.$$

Расчет трудоемкости ремонтных работ сведем в таблицу 18.

По полученным данным находим заработную плату ремонтных рабочих. Тарифный фонд заработной платы определяется по формуле:

$$Z_{ТАР} = T_P \cdot S,$$

где T_P – трудоемкость ремонта оборудования, чел-ч;

S – часовая тарифная ставка, руб.

Расчет фонда заработной платы ремонтных рабочих на примере ремонта барабанной прокаточной печи сведен в таблицу 19.

Расчет фонда заработной платы ИТР, служащих и МОП производится по схеме должностных окладов, установленных в зависимости от сложности производства и занимаемой должности.

Для работающих посменно должны быть учтены доплаты за работу в праздничные дни. Премия ИТР и служащим выплачивается из ФМП, и в фонд заработной платы не включаются. Но при расчете отчислений на социальное страхование учитывается весь годовой фонд заработной платы, включая премии. Размер премии 24 % от фонда заработной платы по должностным окладам.

Расчет фонда заработной платы ИТР, служащих и МОП сведен в таблицу 20

5.5 Расчет себестоимости продукции

Себестоимость продукции является важным обобщающим показателем, характеризующим качество работы данного производственного подразделения, поскольку в ней находят отражение большинство факторов, отражающих работу предприятия, цеха, отделения; использование производственной мощности аппаратов, рациональное расходование материальных ресурсов, рост производительности труда рабочих и т.д. Снижение себестоимости конкретных видов продукции достигается систематическим повышением технического уровня производства.

Определение себестоимости продукции достигается систематическим повышением технического уровня производства.

Статьи 1,2. Расчет годовой потребности в сырье и материалах.

Определение затрат на сырье, материалы производится исходя из принятого в проекте объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов, установленных по материальному балансу а технологической части проекта п планоно-заготовительных цен.

Расчет удельных норм расхода сырья и материалов производится по выражению:

$$K_{РАСХ} = \frac{M_q}{B_q},$$

где $K_{РАСХ}$ – расход сырья, материалов на единицу готового продукта;

M_q – часовой расход сырья и материалов;

B_q – часовая производительность по готовому продукту.

Планоно-заготовительные цены определяются по прейскуранту. Весь расчет сведен в таблицу 21.

Таблица 21 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья и материалов	Единица измерения	Расход		Планоно-заготовительная цена, руб.	Сумма затрат, тыс. руб.	
		на единицу продукции	на весь объем		на единицу продукции	на весь объем производства
Бариевый феррит	кг	0,8	5694000	10 руб/кг	0,8	56940
Промышленная вода	м ³	0,005	5694	41 руб/м ³	0,04	233,454
Итого						59174,54

Статьи 3,4. Расчет потребности в электроэнергии.

На промышленных предприятиях стоимость 1 кВт·ч электроэнергии определяется по двухставочному тарифу на основе прейскуранта. Тариф складывается из годовой платы за 1 квт заявленной предприятием максимальной нагрузки и платы за каждый потребленный квт. Ч активной электроэнергии.

Максимальные нагрузки (M_{max}) определяется по формуле:

$$M_{MAX} = M_Y \cdot K_C,$$

где M_Y – установленная (номинальная) мощность всех электроприемников;
 K_C – коэффициент спроса электроэнергии, учитывающий максимальное электропотребление, принимаемой в химической промышленности 0,75–0,9.

Для проектируемого цеха $M_Y=644$ кВт, тогда

$$M_{max} = 644 \cdot 0,8 = 515 \text{ кВт}.$$

Таблица 22 – Расчет потребности в электроэнергии

Наименование электрооборудования	Единичная мощность, кВт	Количество потребителей	Эффективный фонд времени работы электрооборудования в год, ч	Суммарно-потребляемое количество электроэнергии в год, кВт·ч
Электродвигатель	425	1	5694	2419950
Электродвигатель	5	2	5694	56940
Электродвигатель	4,5	2	5694	51246
Электродвигатель	40	2	5964	455520
Электродвигатель	100	1	5694	569400
Электродвигатель	10	2	5694	113880
Итого				3666936

Расчет действительно потребляемой энергии на технологические цели производства по формуле:

$$P_{ТЕХН} = \frac{Q_{УСТ.ТЕХН} \cdot K_C}{КПД_{СЕТИ}},$$

где $P_{ТЕХН}$ – расход электроэнергии на технологические цели;

$Q_{УСТ.ТЕХН}$ – суммарная годовая потребность электроэнергии на технологические цели без учета резервного оборудования;

$КПД_{СЕТИ}$ – коэффициент полезного действия принимается равным 0,98.

Имеем:

$$P_{ТЕХН} = \frac{3666936 \cdot 0,8}{0,98} = 2993417 \text{ кВт}.$$

Удельный расход электроэнергии ($L_{УД.ТЕХН}$) на технологические цели определяется:

$$L_{\text{уд.ТЕХН}} = \frac{P_{\text{ТЕХН}}}{N},$$

где N – годовой объем производства продукции.

$$L_{\text{уд.ТЕХН}} = \frac{2993417}{6535000} = 0,46 \text{ кВт/кг.}$$

Расход электроэнергии на двигательные цели ($P_{\text{ДВИГ}}$) определяется на основе следующей формулы:

$$P_{\text{ДВИГ}} = \frac{Q_{\text{ДВИГ}} \cdot K_C}{\text{КПД}_{\text{СЕТИ}} \cdot K_{\text{ДВИГ}}},$$

где $K_{\text{ДВИГ}}$ – коэффициент полезного действия двигателя равный 0,85.

$$P_{\text{ДВИГ}} = \frac{1195740 \cdot 0,8}{0,98 \cdot 0,85} = 1148370 \text{ кВт.}$$

Удельные затраты на двигательную электроэнергию ($L_{\text{ДВИГ}}$) определяются как:

$$L_{\text{ДВИГ}} = \frac{P_{\text{ДВИГ}}}{N},$$

$$L_{\text{ДВИГ}} = \frac{1148370}{6535000} = 0,18 \text{ кВт/кг.}$$

Суммарный удельный расход электроэнергии на технологические и двигательные цели равен:

$$L_{\text{ОБЩ}} = L_{\text{ТЕХН}} + L_{\text{ДВИГ}},$$

$$L_{\text{ОБЩ}} = 0,46 + 0,18 = 0,64 \text{ кВт/кг.}$$

Сумма расхода на электроэнергию за год определяется соответственно по формулам:

$$P_{\text{уд}} = L_{\text{ОБЩ}} \cdot Ц_{\text{э}},$$

$$P_{\text{эл.ОБЩ}} = Ц_{\text{э}} \cdot (P_{\text{ТЕХН}} + P_{\text{ДВИГ}}),$$

где $C_{\text{э}}$ – цена 1 кВт·ч электроэнергии по тарифу, действующему в данном экономическом районе ($C_{\text{э}} = 1,94$ руб. за кВт ч).

$$P_{\text{уд}} = 0,64 \cdot 1,94 = 1,24 \text{ руб/кг},$$

$$P_{\text{эл.общ}} = 1,94 \cdot (2993417 + 1148370) = 6212681 \text{ руб.}$$

5.6 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учитывать:

- полную стоимость здания (производственного помещения);
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Таблица 23 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных фондов	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизационных отчислений, %	Сумма амортизационных отчислений, тыс. руб.
Здания	19600	1,2	235,2
Технологическое оборудование	2741,312	См. таблицу 14	350,71
Итого	22341,312	—	585,91

Сумма амортизационных отчислений от стоимости зданий и сооружений учитывается в смете цеховых расходов по статье «Амортизация производственных зданий и сооружений», а от стоимости оборудования – в смете расходов по содержанию и эксплуатации оборудования по статье «Амортизация производственного оборудования и аппаратуры».

5.7 Расчет сметы расходов по содержанию и эксплуатации оборудования

Смета составляется по следующей номенклатуре и укрупненным показателям.

Таблица 24 – Смета расходов по содержанию и эксплуатации оборудования

Статьи расхода	Сумма, тыс. руб.
1 Текущий ремонт оборудования:	
а) заработная плата рабочих по ремонту оборудования;	46,67
б) единый социальный налог;	16,61
в) стоимость материалов, запчастей и услуг ремонтно-механического цеха	160,768
Итого по статье 1	224,047
2 Амортизация производственного оборудования и аппаратуры	350,71
Итого по статьям 1–2	574,757
3 Прочие расходы, включающие возмещение износа малоценных и быстроизнашивающихся инструментов, приспособлений, а также прочие расходы, связанные с содержанием и эксплуатацией оборудования	57,476
сего в смете	632,233

5.8 Расчет сметы цеховых расходов

Смета цеховых расходов составляется по таблице 25.

Таблица 25 – Смета цеховых расходов

Статьи расхода	Сумма, тыс. руб.
1. Зарплата цехового персонала	1082,66
2. Единый социальный налог	254,42
3. Содержание производственных зданий и сооружений	1000
4. Текущий ремонт производственных зданий и сооружений	410
5. Амортизация производственных зданий и сооружений	235,2
6. Расходы по охране труда	450,5
Итого по статьям 1-6	3432,78

Продолжение таблицы 25.

7. Прочие расходы, включая износ малоценного и быстроизнашивающегося инвентаря и прочие цеховые расходы	35
Итого цеховых расходов	3782,78

После этого рассчитываются цеховые расходы на единицу выпускаемой продукции

$$ЦР_{уд} = \frac{2726591}{6535000} = 0,5 \text{ руб/кг.}$$

При проектировании выпуска только одного вида продукции (как и в данном проекте) цеховые расходы относятся непосредственно на стоимость данного продукта.

При проектировании выпуска нескольких видов продукции цеховые расходы распределяются между ними следующим образом

- пропорционально сумме основных затрат по переработке (то есть сумме расходов на топливо и все виды энергии для технологических целей, заработную плату производственных рабочих и отчисления на социальное страхование;
- пропорционально заработной плате производственных рабочих.

5.9 Расчет общезаводских и внепроизводственных расходов.

Эти виды накладных расходов учитываются при разработке товарного продукта. При проектировании цеха общезаводские расходы принимаются в размере 10-15% от стоимости переработки сырья, то есть цеховой себестоимости за вычетом стоимости и сырья и основных материалов.

Внепроизводственные расходы учитываются в размере 2-3% от заводской стоимости. Расчет общезаводских и внепроизводственных расходов можно представить в виде таблицы 26.

Таблица 26 – Расчет общезаводских и внепроизводственных расходов

Вид расходов	Сумма расходов, тыс. руб.
Общезаводские	12135,43
Внепроизводственные	1820,32

6.10 Проектная калькуляция себестоимости продукции

Исчисление проектной себестоимости осуществляется на основе произведенных ранее расчетов и сводится в таблицу 27.

Таблица 27 – Калькуляция себестоимости продукции, тыс. руб.

Статьи калькуляции	Затраты	
	На весь объем, тыс. руб.	На единицу, тыс.руб.
1	2	3
1 Сырье и материалы:		
а) феррит бария	56940	8,7
б) промышленная вода	233,45	0,3
Итого:	59274,54	9,0
2 Энергия на технологические цели:		
а) электроэнергия	6212,68	1
Итого:	6212,68	1
3 Заработная плата	60579,5	9,3
4 Отчисления на социальные нужды	14236,18	2,18
5 Расходы на подготовку и освоение производства	1856,72	0,3
6 Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	632,23	0,01
7 Цеховые расходы	3782,78	0,7
Итого цеховая себестоимость	81687,5	12,5
8 Общезаводские расходы	12135,43	1,8
9 Прочие производственные расходы	2427,09	0,5
Итого производственная (заводская) себестоимость:	15030,5	2,3
10 Внепроизводственные расходы	1820,32	0,3
Итого полная себестоимость	164028,5	25,1
Постоянные затраты	13788,85	2,11
Переменные затраты	150239,65	22,99

6.11 Расчет цен

Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100),$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 25,1 * 1,25 = 31,375 \text{ тыс.руб.}$$

Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($B_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B_{пр} = \text{Изд.}_{\text{пост}} + \text{Изд.}_{\text{пер}}$$

Определение точки безубыточности:

1. *Аналитическим* способом:

$$Q_{кр.} = \frac{13788,85}{31,375 - 22,99} = 1644,5, \text{ тыс. тонн,}$$

где $C_{1гп}$ – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$\text{Изд.}_{1гп}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

2. *Графическим* способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 1.

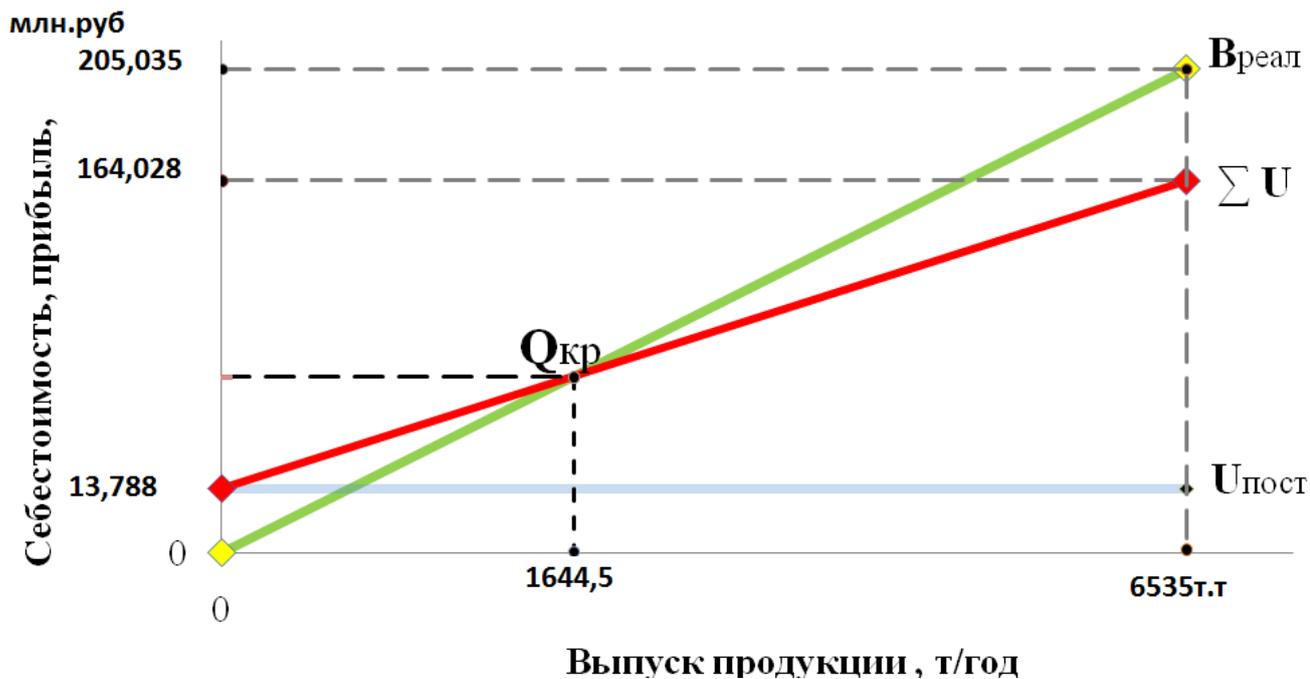


Рис. 1. График безубыточности

Расчет технико-экономических показателей

Таблица 14

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Плановый год
1. Объем производства	т	6535
2. Объем продаж	т	6535
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	31,375
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	205035,625
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	164028,5
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	150239,65
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	13788,85
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	41007,125
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	8201,425
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	32805,7
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	22,99
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	185672
11. Численность основных рабочих	чел.	50
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	3713,44
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	1,1
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,905
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	4100,71
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	20
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	16
18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. т	1644,5
19. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. руб.	51596,188

ВЫВОДЫ

1 В ходе разработки дипломного проекта произведен обзор методов получения ферритовых магнитов. Путем сравнения методов получения ферритов выбран метод порошковой металлургии.

2 Разработана аппаратурно-технологическая схема установки получения ферритовых магнитов. Подобрано стандартное оборудование и средства контроля, измерения и регулирования параметров процесса.

3 Спроектирована барабанная вращающаяся печь отжига.

3.1 Произведены материальные, тепловые, конструктивные и прочностные расчеты данного аппарата

3.2 При проектировании данных аппаратов по возможности использованы стандартные элементы (фланцы, штуцера и т. д.), повышающие ремонтпригодность оборудования и снижающие затраты на их обслуживание.

3.3 На стадии проектирования барабанной вращающейся печи отжига, учтена возможность регулирования параметров получаемых ферритовых магнитов, за счет изменения температуры в греющей камере и скорости вращения барабана.

4 Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

5 Проведены основные технико-экономические расчеты установки, а также расчет эффективности инвестиций в данный проект.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Алексеев С. Ю. Машиностроительное черчение: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1987. – 447 с.
- 2 Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1960.
- 3 Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.2. 5-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1978. – 559 с., ил.
- 4 Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
- 5 Аркадьев В. К. Электромагнитные процессы в металлах, Госэнергоиздат, ч.1, 1935; ч.2, 1936.
- 6 Арустамов Э. А. Безопасность жизнедеятельности. – М.: Высш. шк., 2001. – 678 с.
- 7 Бакластов А. М. Проектирование монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок. М.: Энергия, 1970.
- 8 Выпускная квалификационная работа: Методические указания для студентов специальности 170500 «Машины и аппараты химических производств» ИДО /Сост. В.М.Беляев, Н.С.Шваб.-Томск; Изд. ТПУ, 2002.-30с.
- 9 Буйновский А. С., Софронов В. Л. Технология и оборудование для производства постоянных магнитов: Курс лекций. – Северск: СТИ ТПУ, 1997. – 246 с.
- 10 Буланов Э.А. Решение задач по сопротивлению материалов. – М.: Высш. шк., 1994.
- 11 Голубятников В. А., Шувалов В. В. Автоматизация процессов в химической промышленности – М.: Химия, 1972.
- 12 ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
- 13 Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1979.
- 14 Долин П. А. Справочник по технике безопасности. М.: Энергоиздат, 1984.
- 15 Дунаев П. Ф., Леликов О. П. Конструирование узлов и деталей машин. – М.: Высш. шк., 1998. – 447 с.
- 16 Единая система плано-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий.
- 17 Канторович З.Б. Основы расчета машин и аппаратов химических производств. – М.: Машгиз, 1960. – 744с.
- 18 Качаев В. П., Махутов И. А., Гусенков А. П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. – М.: Машиностроение, 1984. – 224 с.
- 19 Клюев А. С. Проектирование систем автоматизации технологических
- 20 Кольман-Иванов Э.Э. Конструирование и расчет машин химических производств. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
- 21 Кукин П. П. Безопасность технологических процессов и производств. – М.: Высш. шк., 2001.
- 22 Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли: Раб. программа, метод. указ. и контр. задания для студентов специальности 240801 «Машины и аппараты химических производств» ИДО/ Сост. О.К. Семакина. – 2-е изд., испр. – Томск: Изд. ТПУ, 2006. – 42 с.

- 23 Нормы амортизационных отчислений по основным производственным фондам. – М.: 1994. – 348 с.
- 24 Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Ч.1 Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, строгальные, долбежные и фрезерные станки. – М., 1967.
- 25 Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн 1/Под ред. П. Н. Учаева. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
- 26 Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн 2/Под ред. П. Н. Учаева. – М.: Машиностроение, 1988. – 560 с.
- 27 Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. – Л.: Химия, 1968. – 848 с.
- 28 Павлов К.Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл. – корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10 – е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.
- 29 Рабкин Л. И., Эпштейн Б. Ш. Неметаллические ферромагнетики (ферриты), Связьиздат, 1955.
- 30 Рабкин Л. И., Новикова З. И. Радиотехника и электроника, 1957, 6, № 6, 762.
- 31 Рабкин Л. И. Высокочастотные ферромагнетики, Физматгиз, 1960.
- 32 Рабкин Л. И, Соскин С. А., Эпштейн Б. Ш. Технология ферритов. – М.: 1994.
- 33 Рабкин Л. И., Эпштейн Б. Ш. Радио, 1952, № 10, 14.
- 34 Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств: Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов втузов/ М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1984. – 301 с., ил.
- 35 Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия, 1968.
- 36 Система плано-предупредительного ремонта технологического оборудования машиностроительных предприятий.
- 37 Смоленский Г. А., Рабкин Л. И. Вестник связи, 1951 № 10, 6.
- 38 Сноек Я., Исследования в области новых ферромагнитных материалов, ИИЛ, 1949.
- 39 Соколов В.И. Машины и аппараты химических производств. – М.: Машиностроение, 1984. – 425 с.
- 40 Софронов В. Л., Васильева Е. В. Расчет бандажей вращающихся аппаратов: Руководство для студентов. – Томск: ТПИ-1, 38 с.
- 41 Софронов В. Л. Расчет на прочность оборудования для измельчения Руководство для студентов. – Томск: Отд. №1 ТПИ, 1986.
- 42 Сапожников М. Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Наука Высш. шк., 1971. – 382 с.
- 43 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т 1/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с., ил.
- 44 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах. Т 2/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с., ил.

- 45 Справочное пособие по сопротивлению материалов / Под редакцией Рудицина М.Н. - Минск: Высшая школа, 1970.
- 46 Субботина Л. Г. Организация, планирование и управление предприятием химической промышленности. – Томск. 1987, – 38 с.
- 47 Субботина Л. Г. Анализ экономической эффективности инвестиционного проекта. – Северск, 2002. – 11 с.
- 48 Чекмарев А.А, Осипов В.К. Справочник по машиностроительному черчению. – М.: Высш. шк., 1994.– 671 с.
- 49 Шольц Н. Н. Известия АН СССР, сер. физич. – 1954. – т. 18. – № 4.
- 50 Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1994.
- 51 Юдин Е. Я. Охрана труда в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1983.