

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

Направление 151001.65 «Конструкторско-технологическое обеспечение автоматизированных машиностроительных производств»

Специальность «Технология машиностроения»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему:

**Совершенствование мельницы специальной для производственных  
условий ОАО «ВЦМ»**

Студент(ка)

Левина Д.Р.

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Руководитель

Резников Л.А.

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Консультанты

Горина Л.Н.

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Зубкова Н.В.

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

Виткалов В.Г.

\_\_\_\_\_  
(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_  
(личная подпись)

**Допустить к защите**

И.о. заведующего кафедрой

к.т.н, доцент

\_\_\_\_\_  
А.В. Бобровский

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт машиностроения  
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В.Бобровский

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы  
(уровень специалиста)**

**направление подготовки 151001.65 «Конструкторско-технологическое обеспечение автома-  
тизированных машиностроительных производств**  
**Специальность «Технология машиностроения»**

Студент Левина Дарья Романовна, гр. ТМз-1001

1. Тема Совершенствование мельницы специальной для производственных условий ОАО «ВЦМ».

2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы «\_\_» \_\_\_\_ 2016 г.

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе *Материалы преддипломной практики, чертежи деталей и сборочных единиц*

4. Содержание выпускной квалификационной работы (объем 90-120 с.)

*Титульный лист. Задание. Реферат (аннотация). Содержание.*

*Введение, цель проекта*

*1) Описание исходных данных. Обзор условий работы специальных мельниц. Цель и задачи проекта*

*2) Предложение технических решений по совершенствованию конструкции шаровой мельницы.....*

*3) Разработка технологии изготовления бронепилы мельницы.....*

*4) Анализ и проектирование схемотехнической части мельницы*

*5) Безопасность и экологичность технического объекта.....*

*6) Экономическая эффективность проекта.....*

*Заключение. Литература. Приложения.*

# АННОТАЦИЯ

УДК 621.0.01

Левина Дарья Романовна

Совершенствование мельницы специальной для производственных условий ОАО «ВЦМ»

Дипломный проект. Тольятти. Тольяттинский государственный университет, 2016.

В представленном дипломном проекте разработан волновой профиль футеровки трубной шаровой мельницы МШР 2,6×13. Выбран более износостойкий материал. Рассчитаны основные параметры мельницы: мощность, потребляемая из сети, расчет и построение контура падения шаров, прочностной расчет барабана мельницы. Оценено влияние профиля футеровки на основные параметры режима ее работы.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки и комплекта чертежей, поясняющих материал, рассмотренный в записке.

Пояснительная записка состоит из следующих разделов: общая часть, специальная часть, технологическая часть, электрическая часть, охрана труда, охрана окружающей среды и экономическая часть.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, включающей в себя 120 страниц, 16 таблиц и 19 рисунков; 6 чертежей формата А1, двух чертежей формата А2 и 6 чертежей формата А3.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1 ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ. ОБЗОР УСЛОВИЙ РАБОТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА .....	
1.1 Краткая информация о предприятии, его структура, выпускаемая продукция.....	
1.2 Технологический процесс помола клинкера и добавок при получении цемента .....	
1.3 Перечень и характеристика технологического оборудования .....	
1.4 Конструкция шаровой мельницы .....	
1.5 Эксплуатация мельниц .....	
1.6 Пуск мельничьего агрегата .....	
1.7 Анализ надёжности шаровой мельницы.....	
2. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ.....	
2.1 Анализ условий работы и необходимость модернизации .....	
2.2 Режим работы шаровой мельницы МШР 2,6х13 .....	
2.3 Расчет и построение контура падения шаров цементной мельницы МШР 2,6х13 .....	
2.4 Методика проектирования футеровочных плит, обеспечивающих рациональное распределение потребляемой энергии .....	
2.5 Мощность, потребляемая мельницей МШР 2,6х13 из сети .....	
2.6 Прочностной расчет барабана мельницы .....	
2.7 Производительность мельницы .....	
2.8 Влияние профиля и материала футеровочных плит на их износостойкость .....	

2.9	Сталь Гадфильда и ее стойкость к износу .....	
2.10	Износостойкость белых чугунов .....	
2.11	Модернизация футеровки.....	
2.12	Помол цемента по замкнутому циклу.....	
3.	<b>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРОНЕПИЛЫ МЕЛЬНИЦЫ.....</b>	
3.1	Назначение и конструкция детали, технические условия на изготовление .....	
3.2	Разработка эскиза модели и стержней .....	
3.3	Литейная форма в сборе .....	
3.4	Расчет литниковой системы.....	
3.4	Термическая обработка .....	
4.	<b>АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МЕЛЬНИЦЫ .....</b>	
4.1	Расчет суммарной средней нагрузки.....	
4.2	Выбор трансформаторных подстанций .....	
4.3	Определение расчётных токов.....	
4.4	Выбор силовых кабелей напряжением до 1000 кВ.....	
4.5	Выбор магистральных кабелей низкого напряжения.....	
4.6	Расчёт токов короткого замыкания .....	
5.	<b>БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА .....</b>	
6.	<b>ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА.....</b>	
7.1	Капитальные затраты.....	
7.1.1	Определение затрат на заработную плату персоналу осуществляющему монтаж и демонтаж футеровки шаровой мельницы .....	
7.2	Расчет себестоимости по амортизации .....	
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	

ПРИЛОЖЕНИЯ.....

## ВВЕДЕНИЕ

Шаровая мельница – это измельчительный агрегат, который за полтора века практически не претерпел радикальных изменений. Это свидетельствует как о достоинствах и незаменимости шаровой мельницы, так и о серьезных недостатках. Проблема измельчения традиционно решалась не системно, а с позиций отдельных частных решений на основе выбора цикла и стадий измельчения технологической схемы, профиля и материала футеровки, крупности шаров, коэффициента заполнения шарами и т.д.

Мельницы являются одними из основных агрегатов, применяемых для измельчения при обогащении руд черных и цветных металлов, производстве цемента и размоле угля на тепловых электростанциях. Измельчительный процесс в указанных производствах является самым энергоемким и дорогостоящим. Общие затраты на измельчение руд на обогатительных фабриках и цементных заводах достигают более 60% стоимости переработки материалов.[2]

В шаровых мельницах футеровка после шаров является основным узлом, от которого зависят эксплуатационные показатели измельчительного агрегата в целом.

Установлено, что расход материала футеровок и дробящих тел зависит от профиля футеровочных плит, причем профиль оказывает существенное влияние на режим работы дробящей среды. В свою очередь, режим работы дробящей среды при всех прочих равных условиях определяет производительность и эффективность измельчения материала в шаровой мельнице. Поэтому всякие мероприятия, направленные на сокращение расхода футеровок и дробящей среды на тонну измельченного продукта, а также мероприятия по увеличению производительности и эффективности измельчительных агрегатов дадут неоспоримые экономические выгоды.

Шаровые мельницы обычно предназначаются для тонкого измельчения материалов различной твердости, прошедших предварительное дробление до крупности отдельных кусков не более 60 мм. Крупность же продукта, прошедшего измельчение в шаровых мельницах, колеблется в пределах 1,5—0,05 мм в зависимости от конструктивных особенностей мельниц и требований технологии производства.

Основными агрегатами при производстве цемента являются цементные трубные шаровые мельницы. При этом, исходя из условий технологии производства цемента, применяют одновременно как мельницы мокрого измельчения (сырьевые) для получения шламов при изготовлении клинкера, так и мельницы сухого помола при измельчении клинкера, т. е. в последней стадии изготовления цемента.

Поскольку футеровочные плиты достигают массы 250 кг, замена футеровки представляет собой длительный энергоемкий процесс. По этой причине продление срока работы футеровки является важной практической задачей. [17]

В специальной части настоящего дипломного проекта рассматривается действующий профиль футеровки, изготовленной из стали 110Г13Л, а также альтернативный волновой профиль. Предложен принципиально иной материал для изготовления футеровочных плит.



# 1 ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ. ОБЗОР УСЛОВИЙ РАБОТЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ МЕЛЬНИЦ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

## 1.1 Краткая информация о предприятии, его структура, выпускаемая продукция

ОАО "ВЦМ" является предприятием, выпускающим оборудование для производства цемента, в том числе мельницы для дробления пород.

Проект завода выполнен Ленинградским институтом "Гипроцемент".

Во времени строительства Жигулевской ГЭС в нашем городе началось строительство завода по мокрому способу производства и 26 декабря 1957 г. пущена в эксплуатацию первая технологическая линия, в феврале 1958 г. - вторая, а в марте - третья. В феврале 1960 года задействована четвертая технологическая линия, с пуском которой мощность завода определилась в 900 тысяч тонн цемента в год.

На заводе было установлено следующее технологическое оборудование:

- шесть сырьевых мельниц 2.6x13 м.;
- четыре вращающихся печи, из них три печи 3.6 x 3.3 x 3.6 x 150 м. и одна печь 3.6 x 150 м.;
- пять цементных мельниц диаметром 2.6 x 13 м.

Влажность шлама, подаваемого на печи: 31.5 +/- 0.5 %.

**Цемент** – один из важнейших строительных материалов, предназначенных для бетонов и строительных растворов, скрепление отдельных элементов (деталей) строительных конструкций, гидроизоляций и др. Цемент представляет собой гидравлический вяжущий материал, который после смешения с водой и предварительного затвердевания на воздухе продолжает сохранять и наращивать прочность в воде.

Производство цемента обусловлено необходимостью его производства для применения главным образом в строительстве. Строительство жилья на основе цемента позволяет получить объекты с низкой теплопроводностью и высокой морозостойкостью.

Технология цементное производство позволяет использовать в нём отходы добывающей, металлургической отраслей, а также побочные продукты этих производств. Некоторые отходы даже улучшают свойства цемента. Гибкая технология позволяет осуществлять комбинирование производства цемента с производством металлов, химических продуктов и энергии. [16]

Важными особенностями, отличающими завод от родственных предприятий страны, являются использование впервые в отечественной практике мраморизованного известняка в качестве карбонатного сырья, а также удаленность сырьевой базы, карьера "Перевал", расположенного в 180 км от завода вблизи железнодорожной станции.

В качестве глинистого компонента, это также впервые в цементной практике, первоначально использовалась газогенераторная зола - отход одного из заводов нефтехимических комбинатов городов Самарской области. С 1968 г. вместо газогенераторной золы используется зола золоотвала местной тепловой электростанции. Карьеры находятся в различных частях области, доставка производится автотранспортом. Корректирующей добавкой являются железистые огарки.

Состав исходной сырьевой шихты:

- мрамор - 81-82 %;
- зола - 17-17.5 %;
- огарки - 0.5 %.

Исходным сырьем при производстве цемента являются мраморизованный известняк, горная порода, в то время как на всех цементных заводах в качестве основного компонента используется известняк или мел. Сухая зола уноса, которая является уносом производства ТЭЦ-1, применяется как гидравлическая добавка при помолу цемента.

Одновременно с наращиванием объемов выпуска проводилась работа по улучшению качественных характеристик цемента. С 1975 года предприятие вырабатывает цемент только марок "400" и "500".

ОАО "Ангарскцемент" является основным поставщиком цемента Восточно-Сибирского региона. Это предприятие использует мельницы производства ОАО «ВЦМ». Потребителям Иркутской и Читинской областей, Бурятии направляется 93 процента всех поставок. Осуществляются частичные поставки цемента в Амурскую область, Якутию, Красноярский и Хабаровский края, Монголию.

Ассортимент продукции ОАО "Ангарскцемент":

- портландцементы бездобавочные ПЦ400 Д0 и ПЦ500 Д0;
- портландцемент с минеральными добавками ПЦ400 Д20;
- портландцемент быстротвердеющий ПЦ500Д20-Б.

Данные виды цементов выпускаются по ГОСТ 10178-85 "Портландцемент, шлакопортландцемент. Технические условия".

*На ангарском цементе построены:*

Города: Ангарск, Братск, Шелехов, Мирный, Усть-Илимск.

ГЭС: Братская, Усть-Илимская, Вилюйска.

Северомуйский тоннель протяженностью 16 км, взлетно-посадочная полоса аэропорта г. Читы, рассчитанная на посадку пассажирских и тяжелых грузовых "Боингов", автомобильные мосты на трассе Москва-Владивосток, железнодорожные мосты Байкало-Амурской магистрали.

Продукция ОАО "Ангарскцемент" используется: в строительстве 3-го моста через Ангару в Иркутске, в изготовлении железобетонных железнодорожных шпал. Срок эксплуатации шпал, изготовленных ОАО "Ангарскцемент", составляет 50-60 лет, что значительно превышает срок службы деревянных 10 лет.

По индивидуальному заказу потребителей завод производит специальные виды цементов: пуццолановый, сульфатостойкий, тампонажный для низких и нормальных температур.

Особенностью ангарского цемента является:

- высокая активность и прочность, которая на 30-50 кг/см<sup>2</sup> выше показателей ГОСТа;
- оптимальные сроки схватывания;
- удобообрабатываемость бетонов и растворов;
- универсальность при использовании цемента как для монолитного строительства, так и при термообработке и электропрогреве бетона;
- отсутствие высолов;
- экологическая безопасность;
- высокая эффективность при пропаривании, что обеспечивает значительное сокращение технологического цикла в строительстве и экономию энергоресурсов.

В настоящее время на ОАО "Ангарскцемент" взят курс на внедрение в производство системы менеджмента качества в соответствии с требованиями международного стандарта на системы качества ИСО-9001-2000, производится подготовка документации и производства по требованиям ИСО 9001-2000.

Продолжая лучшие традиции, в 2001 году по итогам всероссийской программы - конкурса "100 лучших товаров России" портландцемент производства ОАО "Ангарскцемент" включен в перечень лучших товаров страны, а предприятие награждено дипломом Госстандарта России, Академией проблем качества и исполнительной дирекцией программы. Предприятием принята декларация качества.

Для обеспечения непрерывности технологического процесса и поддержание качества продукции на заданном уровне отлажена четкая система материально-технического обеспечения сырьевыми, топливными и материальными ресурсами согласно технологической карте и нормам расхода.

Предприятие уделяет особое внимание экономичному расходованию сырьевых материалов, участвующих в процессе производства. Это возвращение в производство материала пылеуноса после электрофильтров, возврат в

производство просыпей цемента, используя отработанные масла для собственных нужд с дополнительной очисткой (смазка не ответственных участков механизмов и т.д.), выигрывая в сокращении закупок дорогостоящих ГСМ. Предприятие большое внимание уделяет переработке отходов.

ОАО «Ангарскцемент», в прошедшие 47 лет с момента пуска предприятия, стабильно обеспечивает строительный комплекс Восточной Сибири цементом и есть уверенность, что эта тенденция сохранится и впредь.

## 1.2 Технологический процесс помола клинкера и добавок при получении цемента

Технологическая схема помола клинкера и добавок представлена на листе графической части проекта. При работе по открытому циклу помола (Рисунок 1.1) получают портландцемент марки 400 с минеральными добавками и бездобавочный (ПЦ 400 Д20, ПЦ 400 Д0) по ГОСТ 10178-85.

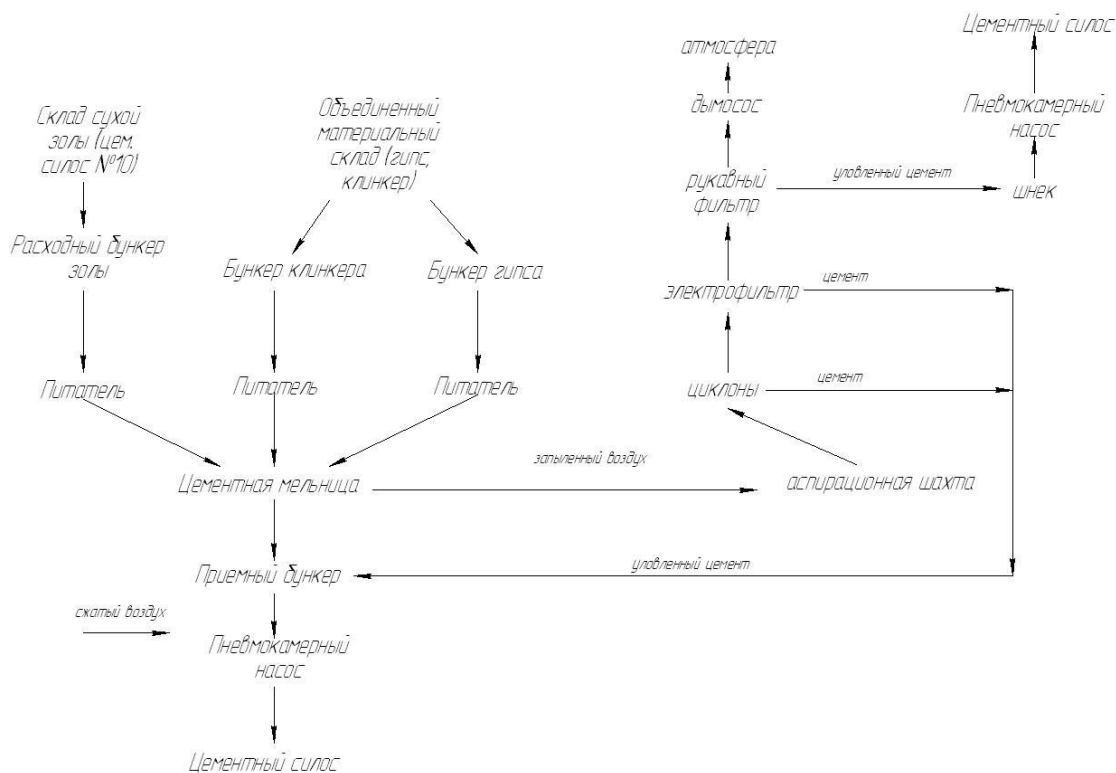


Рисунок 1.1 - Краткая технологическая схема помола клинкера и добавок по открытому циклу

Примечание: в случае применения в качестве добавок гранулированного шлака, газогенераторной золы, предварительно на объединенном материальном складе готовится шихтовка с гипсом, путем объемного дозирования (количество ковшей), которая загружается в гипсовый бункер.

С объединенного материального склада клинкер и гипс мостовым грейферным краном загружаются в расходные бункера (поз. 1, 2). Зола - уноса ТЭЦ, используемая в качестве активной гидравлической добавки, подается в расходный бункер золы (поз.2), из цементного силоса №10 струйной насадкой (поз.27).

Из расходных бункеров клинкер, гипс, зола-унос поступают на питатели (поз.3-6) и через приемную течку подаются в мельницу (поз.8).

Из мельницы цемент, полученный в результате совместного измельчения материалов: клинкер, гипс, добавка, проходя сито (происходит отсев не размолвшегося клинкера и отработанного цельпеска) поступает в приемный бункер (поз.9), из которого самотеком поступает в пневмокамерный насос (поз. 10), которым подается по цементопроводу в один из цементных силосов (поз.22).

Циклы загрузки и выгрузки пневмокамерного насоса фиксируются на круговой диаграмме, установленной на щите пультовой управления мельницами.

Мельницы работают под разрежением, создаваемым дымососом, установленным за пылеочистой системой (поз.20).

Подбором и регулировкой аспирационного режима интенсифицируют процесс помола цемента (повышение производительности мельницы, улучшение условий измельчения, гранулометрический состав).

Очистка аспирационного воздуха производится следующим образом:

-запыленный воздух после грубой очистки в аспирационной шахте, поступает  
в  
циклоны (поз.33), затем направляется в электрофильтр (поз.21 а), из которого поступает для окончательной очистки в рукавный фильтр (поз.26). Очищен-

ный аспирационный воздух выбрасывается в атмосферу. Цемент, осажденный в циклоне и электроfiltре, возвращается в приемный бункер мельницы. Цемент, уловленный рукавным filtром, шнеком (поз.24) подается в пневмокамерный насос (поз.23) и откачивается в один из silосов №1-6, 11-15 (поз.22) .

Очистка запыленного воздуха от расходных бункеров золы-уноса:

-запыленный воздух очищается в рукавных фильтрах (поз.28), установленных на каждом бункере. Уловленная зола, возвращается в расходный бункер, а очищенный газ вентилятором (поз.29,29а) выбрасывается в атмосферу.

Измельчение твердых материалов, транспортируемых с помощью специальных питателей в сырьевое отделение со склада, осуществляется в помольных агрегатах – шаровых мельницах. Одновременно с измельчением до определенной тонкости помола сырьевых материалов в мельнице происходит смешивание гипса, золы и клинкера, а также добавок (огарка). Цементная мельница представляет собой наиболее крупный потребитель энергии на заводе и играет важную роль в подготовке питания для последующих процессов. [23]

### 1.3 Перечень и характеристика технологического оборудования

В цехе установлено семь помольных агрегатов.

В состав мельничного агрегата входит следующее оборудование и устройства:

-мельница с приводом и системой смазки;

-устройства для питания мельниц материалом (бункера, питатели);

-сепаратор с выносными циклонами при работе по замкнутому циклу помола цемента:

-пневмокамерные и пневмовинтовые насосы для транспортировки готового продукта;

-аспирационные и пылеулавливающие установки (циклоны, электро-фильтры, рукавные фильтры).

Мельничный агрегат оснащен контрольно-измерительными приборами, системами дистанционного управления и автоматической блокировки, сигнализацией, которые смонтированы в помещении центрального пульта управления или щитах управления. [23]

Подробная техническая характеристика оборудования представлена в таблице 1.

Таблица 1.1 - Техническая характеристика оборудования цеха помола

Наименование оборудования	Количество однотипного оборудования	Техническая характеристика	Производительность, грузоподъемность, тн. (паспортная)
Цементная мельница	7	Типоразмер: трубная 2.6 x 13м. Частота вращения барабана: от главного привода: цем.м-ца№1 - 20.146 об/мин цем.м-ца№2 - 20,146 об/мин цем.м-ца№3 - 20,146 об/мин цем.м-ца№4 - 20.146 об/мин цем.м-ца№5 - 19.9 об/мин цем.м-ца№6 -- 18.53 об/мин цем.м-ца№7 - 18.53 об/мин от вспомогательного привода — 0.136 об/мин	Производительность -26т/час, при остатке на сите №008 -до 12%, максимальный размер кусков вход. материал а - 25мм
Редуктор А-2800	6	Передаточное число – 18,614	
Редуктор ЦД-4-340 (мельница №5)	1	Передаточное число – 37,6	



<p>Электродвигатель</p>	<p>7</p>	<p>Тип СДН – 1000-750.          Мощность – 1000 кВт.          Напряжение – 6000/3000 В.          Сила тока – 113 А.          Число оборотов - 750 об/мин.</p>	
<p>Мостовой грейферной кран</p>	<p>2</p>	<p>Тип КГ 1502          Завод – изготовитель: Харьковский завод ПТО им. Ленина.          Максимальная высота подъёма 23 метра.          Пролёт 30 метров.          База 5,5 метров.          Колея 2,9 метров.          Скорость подъёма грейфера 50м/мин.          Скорость передвижения крана 100 м/мин.          Скорость передвижения грузовой тележки 70 м/мин.          Тип привода – электрический.          Диаметр каната 25,5 мм.          Тип каната – ЛК-Р6х12+10.С.          Ёмкость грейфера – 5,3 м<sup>3</sup>          Вид материала для перевалки – кусковой ≤ 100мм.          Максимальный насыпной вес материала 1,75 тн/м<sup>3</sup>          Наибольшая масса</p>	<p>Грузоподъёмность 15тн.</p>

		зачерпнутого материала 9тн.	
Весовой дозатор (подача клинкера)	7	Тип – Доза 30-1000-2000-0,5 Ширина ленты – 1000мм Длина – 2000мм	Производительность – 30 т/час.
Весовой дозатор (подача гипса)	7	Тип – Доза 10-1000-2000-0,5 Ширина ленты – 1000мм Длина – 2000мм Точность показания дозирования – 0,5%	Производительность – 10т/час
Весовой дозатор (подача золы уноса)	7	Тип – Доза 10-1000-2000-3 Ширина ленты – 1000мм Длина – 2000мм Точность показания дозирования – 0,5%	Производительность – 10т/час
Пневмокамерный насос	7	Тип – «Цера» 1800мм, однокамерный Внутренний диаметр камеры – 1600мм Длина подачи материала – 300м Высота подачи материала – 27м	
Сепаратор с выносными циклонами		Тип СМЦ – 419.4 Ø 3,5м Частота вращения ротора 150-200 об/мин Передаточное число привода 3,65 Общая установленная мощность электродвигателя – 275 кВт	Паспортный: производительность: а.) с уд. поверхностью 2500см <sup>2</sup> /г (8-10% остатка на сите №008) при 2-3х кратной циркуляции материала не менее 90 тн/час. б.) с уд. поверхностью 3500см <sup>2</sup> /г(4-6% остатка на сите №008) при 5-6х кратной циркуляции материала не менее 55 тн/час.

		<p>Циклоны: количество – 6 шт. Диаметр -1300мм Количество циркулирующего воздуха до 80000 м<sup>3</sup>/час Потери напора до 300кгс/м<sup>2</sup> Объём воздуха, сбрасываемого в аспирацию до 6000 м<sup>3</sup>/час Уровень вибрации не более 99дба Уровень шума не более 80дба.</p>	
Электрофильтры	7	<p>Тип УВ-1-16 Количество секций -1 Количество полей в секции- 1 Количество осадительных электродов – 16 шт. Тип осадительных электродов – S-образные широкополосные Кпд электрофильтра – 99%</p>	<p>Максимальная производительность при скорости 1м/сек 57600м<sup>3</sup>/час</p>
Группа циклонов	4	<p>СЦН-40 по 4шт. Диаметр 800 мм.\система пылевыгрузки - мигалки</p>	<p>Производительность 11600-13500 м<sup>3</sup>/час</p>
Рукавный фильтр	5	<p>Тип ФРКИ-360-У-01 Нагрузка на ткань по газу – 1.7 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> мин Время между регенерациями -10</p>	

		<p>сек.</p> <p>Сопротивление фильтра 1800 Па.</p> <p>Количество рука- вов в камере - 36шт.</p> <p>Количество рука- вов в фильтре – 288 шт.</p> <p>Длина рукава 2905 мм</p> <p>Диаметр рукава 135 мм</p> <p>Площадь филь- трации 360 м<sup>2</sup></p>	
Вентилятор пы- левой (замкнутый цикл)	1	<p>Тип ВЦП – 6</p> <p>Число оборотов 1600об/мин</p> <p>Электродвигатель: -тип АО-72/4 -мощность 7квт -число оборотов 1600об/мин</p>	Производительность 13000-18000м <sup>3</sup> /час
Вентилятор по- дачи воздуха на регенерацию ру- кавного фильтра	1	<p>Тип ВЦ- 4</p> <p>Напор 230-260 кгс/м<sup>2</sup></p> <p>число оборотов 1450 об/мин</p> <p>электродвигатель: -тип МО-160-М-4 -мощность 18,5 квт -число оборотов 1450 об/мин</p>	Производительность 5600-8100м <sup>3</sup> /час
Дымосос	5	<p>Тип ДН-12.5 У</p> <p>Напор 351 кгс/м<sup>2</sup></p> <p>Число оборотов – 1500 об/мин</p> <p>Электродвигатель- тип АSi-280-675 -мощность 75 квт -число оборотов 1470 об/мин</p>	Производительность 39900м <sup>3</sup> /час

Вентилятор	1	Тип ВДМ -11 Напор 445 кгс/м <sup>2</sup> Число оборотов – 1470 об/мин Электродвигатель -тип 4А225М4У3 -мощность 55 кВт -число оборотов 1470 об/мин	Производительность 3400-5600 м <sup>3</sup> /мин
Конвейер винтовой (подача цемента)	1	Диаметр 320 мм Длина 6м Электродвигатель -тип 5А Мощность 15 кВт Число оборотов 1000 об/мин	
Конвейер винтовой (подача крупки в мельницу)	1	Диаметр 350 мм Длина 15 м Электродвигатель -тип А 71-4А Мощность 15 кВт Число оборотов 1000 об/мин	
Насадка струйная		Высота подачи материала собственной конструкции– 50м	Производительность 40 тн/час
Цементопровод а.) от цементной мельницы з.) от сепаратора	7	Диаметр 219 мм	

#### 1.4 Конструкция шаровой мельницы

В цементной промышленности сырье и клинкер измельчают в трубных шаровых мельницах непрерывного действия. Материал в мельницах измельчается за сравнительно длительное время, чем обеспечивается его равномерный помол.

На Рисунке 1.2 представлены продольные разрезы двухкамерной трубной шаровой мельницы 2,6х13. Их внутреннее пространство разделено специальной решетчатой перегородкой на две камеры, сообщающиеся через отверстия в перегородке. Корпус шаровой мельницы представляет собой по-

лый сварной цилиндр, закрытый днищами (крышками), отлитыми заодно с полыми цапфами, которыми мельница опирается на два подшипника. Через одну из цапф подается сырье или клинкер, а через другую выходит измельченный материал.

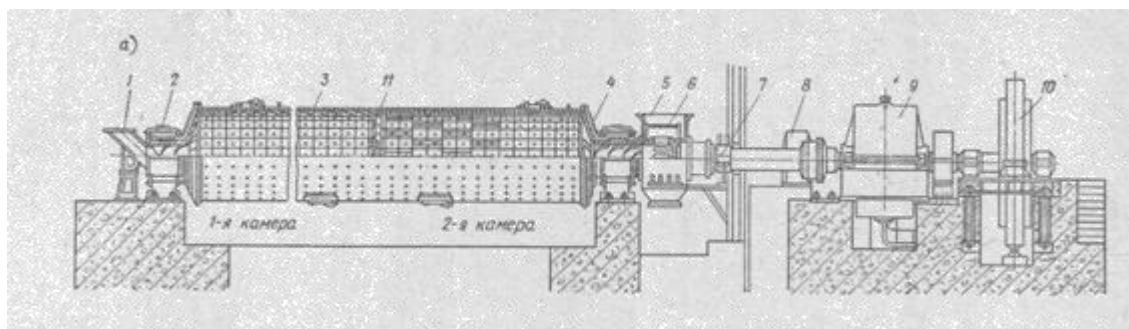


Рисунок 1.2 - Продольный разрез шаровой мельницы 2,6х13

а — проходная мельница: 1 — загрузочная часть; 2 — подшипник; 3 — корпус мельницы; 4 — крышка; 5 — приемная камера; 6 — сито; 7 — установка для подачи воды; 8 и 9 — приводы; 10 — электродвигатель; 11 — перегородка с отверстиями.

В первой (по ходу материала) камере для измельчения применяют стальные шары, а во второй — цельпесы (более мелкие цилиндрики). Материал входит в загрузочную цапфу и проходит первую камеру с шарами, затем он поступает во вторую камеру с цельпесами и выдается в качестве готового продукта через выходную цапфу. Такой цикл работы называется открытым, а сама мельница называется проходной. При вращении мельницы мелющие тела, прижимаемые центробежной силой инерции к стенкам барабана, поднимаются на некоторую высоту. Под действием силы тяжести, преодолевающей вертикальную составляющую силы инерции, и вызываемой ею силы трения, мелющие тела падают на слой материала, дробят его и частично истирают. Цельпесы продолжают измельчение мелкораздробленного материала истиранием.

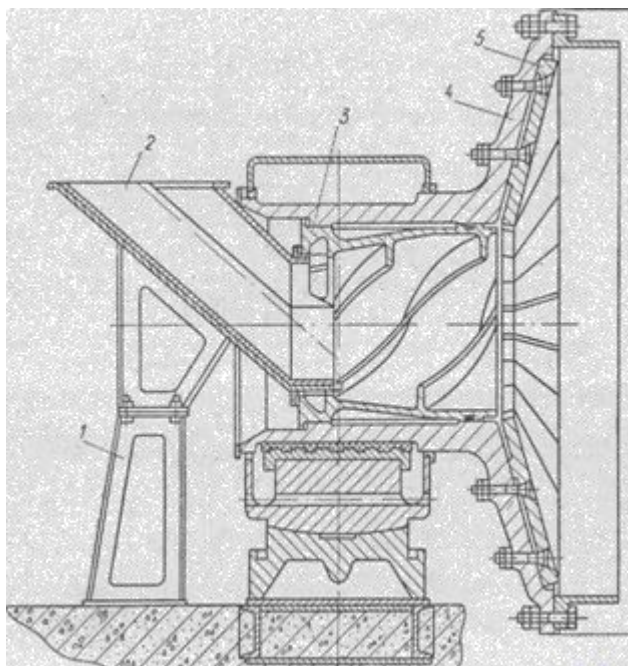


Рисунок 1.3 - Загрузочная часть шаровой мельницы

1 — тумба; 2 — воронка; 3 — трубошnek; 4 — днище с цапфой; 5 — броне-футеровка

Внутренняя полость барабана футерована броневыми плитами. Мельницы имеют центральный привод, ведущий вал которого присоединен к выходной цапфе. Электродвигатель и редуктор вынесены в отдельное помещение, чтобы свести к минимуму попадание в них пыли.

Загрузочная часть мельницы (Рисунок 1.3) состоит из воронки с тумбой, трубошнека и днища, футерованного с внутренней стороны бронеплитами из изнoсоустойчивой стали.

Разгрузочная часть (рис. 4) состоит из радиально расположенных секторов, соединенных болтами с днищем, диафрагмы, трубошнека, разгрузочного патрубка, футеровки патрубка, приемной камеры, сита и секторов. Секторы перегородки имеют щелевидные отверстия для прохода размолотого материала; одновременно они предотвращают унос мелющих тел из второй камеры. Диафрагма имеет десять перегружающих лопастей, отлитых заодно с разгрузочным конусом. Приемная камера мельницы — сварной конструкции, с уплотнением из войлочной набивки в местах сопряжения с разгрузочным патрубком.

Сито представляет собой цилиндрическую сетку, отштампованную из стального листа толщиной 2 мм.

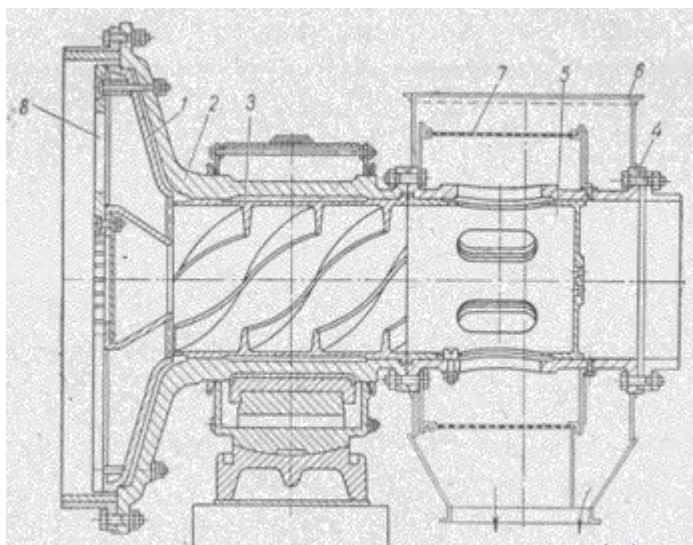


Рисунок 1.4 - Разгрузочная часть шаровой мельницы

1 — диафрагма; 2 — днище; 3 — трубошnek; 4 — разгрузочный патрубок; 5 — футеровка; 6 — приемная камера; 7 — сито; 8 — сектор

Подшипник (Рисунок 1.5) состоит из рамы, основания вкладыша с баббитовой заливкой, корпуса вкладыша и крышки. Рама подшипника сварная и при монтаже заделывается в бетонный фундамент мельницы. Основание подшипника и корпус вкладыша сопрягаются по сферическим поверхностям, что обеспечивает самоустанавливание подшипника при работе мельницы. Вкладыш с баббитовой заливкой имеет водяное охлаждение и выполнен с углом охвата цапфы 120°.

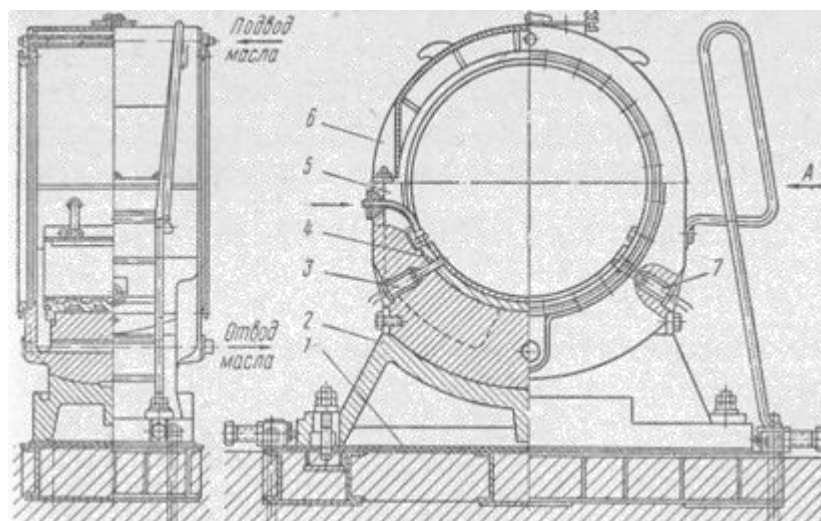




Рисунок 1.5 - Подшипник шаровой мельницы

1 — рама подшипника; 2 — основание подшипника; 3 — термодатчик; 4 — вкладыш с баббитовой заливкой; 5 — корпус вкладыша; 6 — крышка; 7 — термодатчик

Для снятия статического электричества, возникающего во второй камере мельницы в процессе истирания клинкера, используют воду. Установка для ввода воды состоит из форсунки, системы труб и гибких шлангов, вертикального люка, насоса с баком и контрольно-измерительной аппаратуры. Основные детали форсунки выполнены из нержавеющей стали. Контрольно-измерительная аппаратура обеспечивает включение установки при температуре аспирационного воздуха 120 °С и отключение воды при 105 °С. Форсунку во избежание возникновения в ней цементной пробки постоянно продувают сжатым воздухом.

В центральный привод мельницы (Рисунок 1.6) входят следующие основные узлы: цилиндрический двухступенчатый редуктор, эластичная муфта, вал передачи от редуктора к мельнице с двумя зубчатыми муфтами, электродвигатель и вспомогательный привод, предназначенный для ремонтных целей и состоящий из двух редукторов, обгонной муфты и электродвигателя.

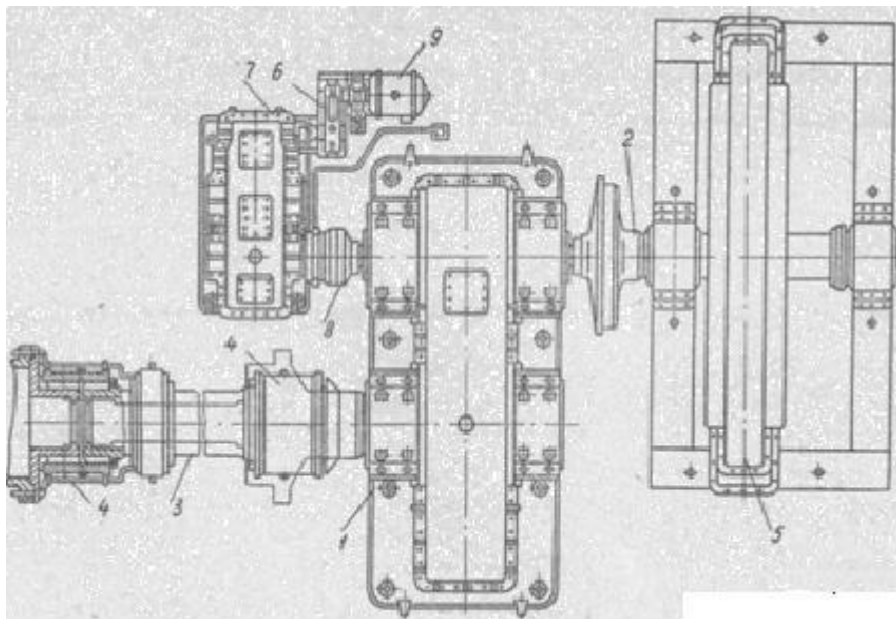


Рисунок 1.6 - Привод мельницы

Барабан мельницы — сварной, из листовой стали, внутренняя поверхность его футерована бронеплитами из стали Гатфилда и покрыта звукоизолирующей прокладкой, установленной под футеровкой.

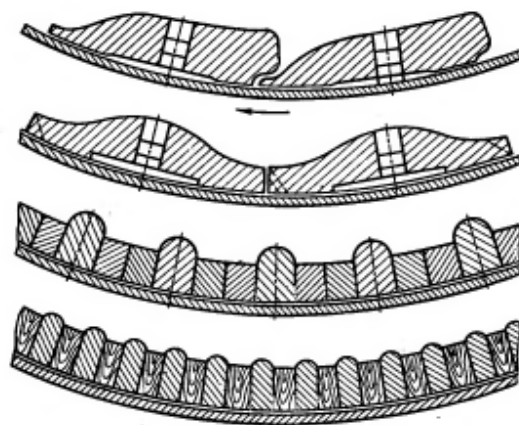
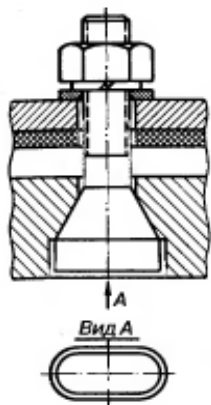
Внутри барабана посередине установлено разгрузочно-загрузочное устройство, представляющее собой систему перегородок, образующих две полости — разгрузочную и загрузочную. Первая полость имеет в стенках барабана разгрузочные окна, вторая — загрузочные окна. Вторая полость оборудована, кроме того, системой направляющих лопаток, загрузочным конусом и транспортирующим устройством. При работе мельницы по открытому циклу разгрузочные окна закрывают специальными крышками.

Футеровка мельниц защищает внутреннюю поверхность барабана от износа, определяет траекторию движения внутримельничной загрузки и степень ее скольжения по футеровке, производительность мельницы, удельный расход энергии, а также износ шаров и самой футеровки. В качестве материала для футеровок преимущественно применяют сталь 110Г13Л.

При выборе профиля руководствуются желательной формой движения дробящей среды и максимальным сопротивлением износу, учитывают крупность и абразивность измельчаемого материала, коэффициент сцепления между футеровкой и измельчающей средой.

К барабану футеровки крепят болтами заклинивающей формы. Под гайку ставят конусную шайбу с резиновым уплотнителем в виде кольца.

Для усиления ударного воздействия применяют большую высоту ребер футеровки. Для крупных стержневых мельниц чаще применяют волновой и горбатый профиль.



Крепление футеровки к барабану  
 Крепление футеровки к барабану

Профили и способы крепления футеровок

Рисунок 1.7 - Броневые плиты мельниц

Перефутеровку крупных мельниц осуществляют механизированным способом на ремонтной площадке с передвижным краном.

Нагрузки, испытываемые шаровой мельницей в процессе работы, зависят от нескольких факторов. Для барабана: сила удара шаров о внутренние стенки, профиль футеровки, режим работы, диаметр шаров, количество загружаемого материала, большая металлоемкость. Для редуктора: работа валов на изгиб и кручение, трение, нагрев.

Система автоматической смазки мельниц состоит из двух станций жидкой смазки: производительностью 200 л/мин, обслуживающей редуктор, и производительностью 50 л/мин, обслуживающей подшипники мельницы.

При работе мельницы в составе помольного агрегата для периодической подачи к поверхностям трения воздушных сепараторов дозированных порций смазки устанавливают отдельную систему автоматической густой смазки. Станции жидкой смазки снабжены контрольно-измерительными приборами: реле давления, электроконтактными термометрами, температурными и поплавковыми реле и термометрами сопротивления. Поплавковое реле контролирует уровень масла на сливе от подшипников мельницы и уровень масла в отстойниках.

Для управления силовым электрооборудованием служат автоматические выключатели и релейно-контакторная аппаратура, поставляемые смон-

тированными в щиты станций управления. Установленное на агрегате электрооборудование снабжено необходимыми зажимами для заземления. Пусковая аппаратура в конечных положениях фиксируется во избежание самопроизвольного выключения. Агрегат снабжен электрической блокировкой, а также системой управления и автоматики. Благодаря этому пуск агрегата или остановка его обязательно сопровождаются подачей звукового сигнала, а запуск механизмов осуществляется в строгой последовательности от конца рабочего потока до электродвигателя главного привода сепараторной мельницы. [4]

#### 1.4 Эксплуатация мельниц

Производительная работа измельчительного оборудования достигается в результате правильной технической эксплуатации машин и механизмов и соблюдения технологического режима измельчения.

К обслуживанию барабанных мельниц допускаются лица, прошедшие специальную теоретическую подготовку, имеющие практические навыки управления машиной и успешно сдавшие экзамен. Машинист мельниц должен пройти инструктаж по технике безопасности и получить удостоверение о присвоении соответствующей квалификационной группы по обслуживанию электроустановки.

Высокопроизводительная работа мельниц возможна только при правильной подаче питания и систематической загрузке мелющей среды. Поступление материала в мельницу должно быть равномерным. Суммарная загрузка шаровых мельниц (шарами и материалом) не должна превышать 50% ее объема. Степень загрузки шаровой мельницы шарами контролируют по мощности, потребляемой мельницей. Догружать шары в шаровые мельницы следует ежедневно. Запрещается длительная (более 15 мин) работа шаровых мельниц без рудной загрузки. Степень загрузки шаровой мельницы материалом контролируют по шуму работающей мельницы и по пескам классифика-

тора. Нормально загруженная материалом мельница издает при работе глухой шум, соударения шаров не слышны. Разгруженная шаровая мельница издает при работе сильный металлический звон. При работе шаровой мельницы с перегрузкой в ее сливе появляется множество кусков материала исходной крупности, что можно заметить по крупности песков классификатора.

Машинист мельниц должен знать крупность исходного материала и ее технологические характеристики, следить за их изменениями и своевременно регулировать водный режим измельчения и классификации и подачу питания.

Запрещается пуск мельниц без предварительного включения централизованных систем жидкой и густой смазки. При работе мельниц машинист обязан следить за состоянием привода, не допуская его пульсации и ударов. Смазывать вал-шестерню необходимо ежесменно графитной смазкой. Смазка должна покрывать зубья шестерен по всей их ширине.

Запрещается эксплуатировать мельницу при сильной вибрации приводной вал-шестерни.

Необходимо контролировать состояние крепежных болтов мельницы, так как при ударных нагрузках и сотрясениях их затяжки быстро ослабевают. Для предотвращения протечек пульпы болты туго затягивают гайками с уплотняющими прокладками. При появлении течи машинист должен остановить мельницу, предварительно получив разрешение у мастера или механика, и затянуть болты.

Запрещается пуск и остановка мельниц без гидроподпора. Об исправности системы гидроподпора судят по показаниям электроконтактных манометров.

При регулярном контроле состояния коренных подшипников проверяют подачу масла. Масло через брызгало должно равномерно попадать на всю рабочую поверхность цапф, а также на упорные бурты разгрузочной цапфы.

Не допускается нагрев коренных подшипников мельницы до 80°C, так как при этой температуре баббит неизбежно схватывается с цапфой. Мель-

ница должна автоматически отключаться при нагреве подшипников до 60° С. Следует помнить, что до высокой температуры может нагреваться лишь узкая полоса баббитового вкладыша.

При обслуживании мельниц необходимо предотвращать утечки масла.[23]

## 1.6 Пуск мельничьего агрегата

1. Сменный мастер, получив информацию о готовности оборудования к пуску, дает указания:

- дежурному слесарю - установить пальцы в полумуфты главного привода;
- аспираторщику - запустить в работу систему пылеулавливания;
- дежурной подстанции электрофильтров - подать напряжение на электрофильтр.

2. Сменный мастер, получив информацию о запуске пылеулавливающей системы и установки пальцев в полумуфты привода мельницы, в присутствии дежурного электромонтера сдает дежурной эл. подстанции №3 «жезл» - символическое разрешение на пуск помольного агрегата и расписываете: в оперативном журнале о готовности к пуску.

3. Дежурная электроподстанции №3 совместно с дежурным электромонтером собирает силовую и оперативную цепи. После повторного подтверждения по телефону сменным мастером и дежурным электромонтером о готовности и безопасности пуска агрегата дает разрешение на пуск помольного агрегата.

4. Моторист-смазчик включает предпусковую сигнализацию (подается звуковой и световой сигнал), после включения сигнализации и загорания контрольной лампочки над трафаретом «главный привод» - включает кнопку «пуск» главного привода.

5. После включения главного привода дежурный электромонтер проверяет токовые нагрузки на роторе, статоре и устанавливает требуемый режим по току возбуждения ротора электродвигателя.

6. Машинист мельниц - включает питатели клинкера, гипса, золы и регулирует питание мельницы загружаемым материалом. Перед включением весовых дозаторов машинист мельниц должен выставить необходимую производительность и процентное соотношение вводимых компонентов.

7. Цементная мельница запускается, через вспомогательный привод. После нескольких поворотов ее на вспомогательном приводе включается главный привод, при этом вспомогательный выводится из зацепления автоматически.

8. Пуск мельниц разрешается производить машинисту мельниц, сменному мастеру. [23]

### 1.7 Анализ надёжности шаровой мельницы

Под надёжностью схемы понимается ее способность безукоризненно выполнять свои функции в течение определенного времени в заданных режимах работы. Она является главным требованием к схеме. Надёжность включает в себя следующие качественные показатели:

Безотказность – свойство изделия выполнять требуемые функции в течение заданного интервала времени или наработки

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, при котором он способен выполнять требуемые функции, путём технического обслуживания и ремонта.

Долговечность – свойство объекта выполнять требуемые функции до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в установленных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течении и после хранения и транспортирования. [9]

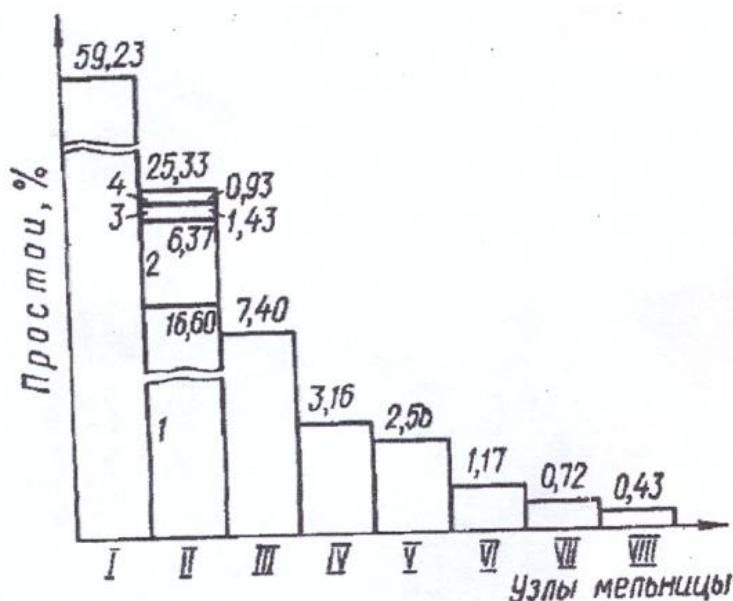
Количественной характеристикой надежности являются отказы, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и наработка на отказ.

Отказ это нарушение работоспособности объекта. Отказы делятся на:

1. Полный отказ. При его возникновении работа невозможна до полного устранения отказа.
2. Частичный отказ. Связан с ухудшением одной из характеристик.
3. Внезапный отказ. В результате скачкообразного изменения, какого-либо параметра (например, короткого замыкания).
4. Постепенный отказ. Параметры системы постепенно выходят из допустимых пределов.
5. Зависимый отказ. Возникает в системе из-за отказа другого элемента.

Требования надежности обеспечиваются:

1. Применением надежных приборов.
2. Оптимальными режимами работы.
3. Резервированием наиболее ответственных цепей схемы.
4. Автоматизированным контролем за неисправностью схемы.
5. Запретными блокировками.
6. Сокращением времени нахождения элементов в схеме под напряжением





### Рисунок 1.8 - Гистограмма времени простоев мельниц из-за отказов основных узлов

- I. Барабан;
- II. Привод (1 – редуктор, 2- электродвигатель, 3 – вал-шестерня, 4- муфта);
- III. Футеровка и решётка;
- IV. Сепаратор;
- V. Электрическая часть;
- VI. Смазка и гидроподпор;
- VII. Подшипники;
- VIII. Загрузочная течка.

На основании статистических экспериментальных данных об отказах и времени восстановления построена гистограмма распределения времени простоев мельниц техническим причинам из-за отказа основных узлов (рис. 8). Как видно из рисунка, почти 60 % простоев по техническим причинам происходит из-за отказов барабана, что свидетельствует о несовершенстве его конструкции, низкой прочностью и надёжностью. На втором месте по продолжительности простоев находится привод мельницы (более 25 %), при этом наименее надёжным узлом привода является редуктор (16,6 % времени простоев). Недостаточно надёжным узлом мельницы являются также футеровка и решётка (7,4 % времени простоев). [11]

Следовательно, анализ надёжности опытного образца мельницы МШР 2,6х13 показал, что для повышения ее общей надёжности и эффективности работы в первую очередь необходимо провести детальные исследования с целью совершенствования конструкции и повышения надёжности ее барабана, привода, футеровки и решетки.

Задачей дипломного проекта является повышение надёжности шаровой мельницы МШР 2,6х13 за счет увеличения ресурса, достигаемого путем изменения профиля футеровки и увеличения технологичности конструкции.

В общей части дипломного проекта также рассмотрены разделы:

1. Технологический процесс изготовления модернизированной бронеплиты;

2. Схема электроснабжения участка помола;
3. Безопасность и экологичность объектов техники при эксплуатации мельницы;
4. Экономическая эффективность проекта.

## 2 ПРЕДЛОЖЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ КОНСТРУКЦИИ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ

### 2.1 Анализ условий работы и необходимость модернизации

Современный этап развития техники тонкого помола характеризуется общим стремлением повысить удельные нагрузки на частицы измельчаемого материала. Для создания напряжений в частицах размерами в несколько десятков микрон необходимо обеспечить такой уровень концентрации энергии в помольной камере, который по достижению предельных значений привел бы к разрушению объекта поликристаллического строения не только по местам структурных дефектов, но и по молекулярным связям. Вместе с увеличением подведенной мощности, в процессе измельчения твердого тела происходит аккумуляция некоторой части энергии, что значительно улучшает реакционную способность материала. [1]

Трубные мельницы применяют для получения наибольшей степени измельчения в одном аппарате при работе в открытом цикле. Для повышения эффективности работы с возможностью измельчения в несколько стадий трубные мельницы выполняют многокамерными. Камеры разделяют между собой решётчатыми перегородками для пропуска материала и заполняют мелющими телами (шарами, цельпесами) уменьшающегося размера соответственно уменьшающейся крупности промышленного продукта. Такое распределение мелющих тел делает процесс измельчения в трубных мельницах более равномерным и менее энергоёмким, чем в шаровых и стержневых мельницах. [2]

Основными достоинствами этой мельницы является: простота конструкции; надежность эксплуатации; значительная производительность. Однако наряду со всеми достоинствами у нее есть ряд существенных недостатков, а именно: высокая удельная и металлоемкость, низкий КПД (электро-

энергия, расходуемая непосредственно на измельчение, составляет всего лишь около 1% всей потребляемой электроэнергии); около 50% мелющих тел не участвуют в процессе измельчения; рабочий объем мельницы используется на 35%; большой удельный расход мелющих тел и материала футеровки (около 2кг на тонну измельчаемого материала). Существует большое количество методов решения всех перечисленных недостатков: совершенствуют броневые плиты и мелющие тела, повышая их износостойкость; устанавливают различные энергообменные устройства, предотвращающие образование застойных зон в мельнице; проектируют различные внутримельничные устройства и перегородки которые способствуют повышению КПД. В данном дипломном проекте мое внимание привлекла проблема устранения «мертвых» зон, а также увеличение тонкости помола, путем изменения профиля футеровки.

## 2.2 Режим работы шаровой мельницы МШР 2,6х13

Основным параметром, определяющим механический режим мельницы, является угловая частота вращения барабана  $\omega$ . Часто для универсальности вместо нее используют относительную величину  $\psi$  в долях от критической частоты вращения  $\omega_{кр}$ . Под понимается такая частота, при которой для материальной частицы на внутренней поверхности барабана в верхнем положении сила тяжести уравновешивается центробежной, а сама частица центрифугирует. Другим важным параметром механического режима является коэффициент заполнения барабана:

$$\varphi = \frac{V}{V_{нз}},$$

где  $V_{нз}$  — объем загрузки мельницы,  $\text{м}^3$ ;  $V$  — рабочий объем барабана,  $\text{м}^3$ .

В смешанном режиме (Рисунок 2.1) часть загрузки имеет траекторию свободного полета, а часть — траекторию, характерную для каскадного режима.

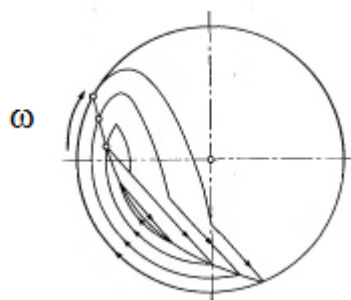


Рисунок 2.1 - Контур загрузки при смешанном режиме

Теоретически доказано, что на траекториях подъема между слоями шаровой загрузки существует скольжение, что приводит к уменьшению угловых скоростей внутренних слоев. При этом, несмотря на то, что частота вращения барабана соответствует водопадному режиму, внутренние слои загрузки продолжают циркулировать по траекториям каскадного режима. Несмотря на относительное проскальзывание между внутренними слоями, внешние слои шаров на фасонной футеровке имеют угловую скорость равную или близкую к скорости барабана, следовательно, при отрыве переходят на параболические траектории, внутренние же слои за счет скольжения «отстают» от внешних и могут образовать каскадную зону.

### 2.3 Расчет и построение контура падения шаров цементной мельницы МШР 2,6x13

#### **Исходные данные:**

Внутренний диаметр мельницы без футеровки  $D=2,6$  м, длина барабана  $L=13$  м, толщина футеровки  $\delta=0,1$  м, скорость вращения мельницы  $n=18,53$  об/мин, максимальная загрузка шарами  $G_{ш}=85$  т.

1. Определение критической частоты вращения мельницы:

$$R_1 = \frac{D}{2} - \delta = \frac{2.6}{2} - 0.1 = 1.2 \text{ м};$$

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R_1}}, \Rightarrow \omega_{кр} = \sqrt{\frac{9.8}{1.2}} = 2.9 \text{ с}^{-1}.$$

2. Определение частоты вращения мельницы:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = 1.94 \text{ с}^{-1}.$$

3. Определение угла отрыва внешнего слоя шаров:

$$\psi = \frac{\omega}{\omega_{кр}} = \frac{1.94}{2.9} = 0.68 \text{ с}^{-1};$$

$$\alpha_1 = \arccos \psi^2 = \arccos 0.68^2 = 62^\circ.$$

По углу  $\alpha_1$  находится точка  $A_1$  отрыва шаров.

4. Составляем уравнение параболы для шаров внешнего слоя:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 - \frac{x^2}{2 \cdot R_1 \cdot \cos^3 \alpha_1};$$

$$y = x \cdot \operatorname{tg}(62) - \frac{x^2}{2 \cdot 1.1 \cdot \cos^3 62};$$

$$y = 1.88 \cdot x - \frac{x^2}{0.23};$$

$$y = 1.88x - 4.3x^2.$$

(1)

5. Построение параболы:

5.1. Определение координат точки  $B_1$ :

Координаты точки  $B_1$  определяются из условия равенства нулю первой производной функции

$$X_{B_1} = R_1 \sin \alpha_1 \cdot \cos^2 \alpha_1; \quad Y_{B_1} = R_1 \sin^2 \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1.$$

$$X_{B_1} = 1.1 \cdot \sin 62 \cdot \cos^2 62 = 0.22;$$

$$Y_{B_1} = 1.1 \cdot \sin^2 62 \cdot \cos 62 = 0.42;$$

$$B_1[0.22; 0.42].$$

5.2. Определение координат точки  $C_1$ :

Координата  $X_{C_1}$  определяются при подстановке в уравнение (1)  $Y_{C_1} = 0$ :

$$X_{C_1} = 2R_1 \sin \alpha_1 \cdot \cos^2 \alpha_1;$$

$$X_{C1} = 2 \cdot 1,1 \sin 62 \cdot \cos^2 62 = 0,44;$$

$$C_1[0;0], C_1[0,44;0].$$

Проверка:

$$x_c = 2 \cdot x_B \Rightarrow 0,44 = 2 \cdot 0,22 \Rightarrow \text{условие выполняется.}$$

5.3. Определение координат точки  $D_1$ :

$$y = -R_1 \cdot \cos \alpha_1 = -1,1 \cdot 0,47 = -0,54;$$

$$-0,54 = 1,88x - 4,3x^2; \quad *(-1);$$

$$\Rightarrow 4,3x^2 - 1,88x - 0,54 = 0;$$

$$D = 1,88^2 - 4 \cdot (-0,54) \cdot 4,3 = 12,82;$$

$$x_1 = \frac{1,88 - \sqrt{12,82}}{8,6} = -0,2 \text{ м}; \quad x_2 = \frac{1,88 + \sqrt{12,82}}{8,6} = 0,64;$$

$$\Rightarrow D_1 [0,64; -0,54].$$

5.4. Определение координат точки  $E_1$ :

Координаты точки падения шаров внешнего слоя – точки  $E_1$  определяются решением системы двух уравнений: уравнения параболы (1) и уравнения окружности в системе координат с началом в точке  $A_1$ , которое выглядит следующим образом:

$$x^2 + y^2 - 2R_1x \sin \alpha_1 + 2R_1y \cos \alpha_1 = 0. \quad (2)$$

В результате получаем:

$$X_{E1} = 4R_1 \sin \alpha_1 \cdot \cos^2 \alpha_1; \quad Y_{E1} = -4R_1 \sin^2 \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1.$$

$$X_{E1} = 4 \cdot 1,2 \sin 62 \cdot \cos^2 62 = 0,9;$$

$$Y_{E1} = -4 \cdot 1,2 \sin^2 62 \cdot \cos 62 = -1,68.$$

Другой способ состоит в том, чтобы провести из точки  $O$  луч под углом  $\theta_1$  падения шаров внешнего слоя, равным  $3\alpha_1$ , считая от вертикальной оси в направлении по ходу часовой стрелки до пересечения с окружностью радиуса  $R_1$ .

$$3\alpha_1 = 3 \cdot 62^\circ = 186^\circ.$$

6. Определение радиуса внутреннего слоя:

$$R_2 = R_1 \cdot k, \quad k = f(\varphi; \psi);$$

$$\varphi = \frac{V_u}{V_M};$$

$$V_u = \frac{G_u}{\rho_u \cdot \mu} = \frac{85}{7,8 \cdot 0,6} = 18,16; \quad V_M = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L = \frac{3,14 \cdot 2,6^2}{4} \cdot 13 = 69 \text{ м}^3 \Rightarrow$$

$$\varphi = \frac{18,16}{69} = 0,29 = 29\%.$$

Соединив точки  $A_1, B_1, C_1, D_1$  и  $E_1$  плавной кривой, получим искомую параболу. Далее необходимо найти радиус внутреннего слоя шаров  $R_2$ . Это выполняется с помощью параметра  $k$ , зависящего от  $\psi$  и  $\varphi$ . Этот параметр называется относительным или безразмерным радиусом.

По табличным данным принимаем:  $k = 0,635$ .

$$R_2 = R_1 \cdot k = 1,2 \cdot 0,635 = 0,7 \text{ м}.$$

7. Определение угла отрыва внутреннего слоя шаров:

$$\psi_2 = \frac{\omega}{\omega_{кр}} = \frac{\omega}{\sqrt{\frac{g}{R_2}}} = \frac{1,94}{4,95} = 0,39;$$

$$\alpha_2 = \arccos \psi_2 = \arccos 0,39 = 81,3^\circ.$$

8. Составляем уравнение 2-ой параболы:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 - \frac{x^2}{2 \cdot R_2 \cdot \cos^3 \alpha_2};$$

$$y = x \cdot \operatorname{tg}(81,3) - \frac{x^2}{2 \cdot 0,7 \cdot \cos^3(81,3)};$$

$$y = 6,54x - 208,3x^2.$$

9. Построение второй параболы:

9.1. Определение координат точки  $B_2$ :

$$y' = 0 \Rightarrow 6,54 - 208,3 \cdot 2x = 0;$$

$$x = 0,06 \text{ м} \Rightarrow y = 6,54 \cdot 0,06 - 208,3 \cdot 0,06^2 = -0,36 \text{ м}.$$

$$B_2(0,06; -0,36)$$

9.2. Определение координат точки  $C_2$ :



$$\begin{aligned}
y &= 0. \\
\Rightarrow 6,54x - 208,3x^2 &= 0; \\
\Rightarrow x(6,54 - 208,3x) &= 0; \\
\Rightarrow x_1 = 0 \text{ м}, \quad x_2 = 0,39 \text{ м}; \\
C_2 & \left[ \begin{array}{l} 0 \\ 0 \end{array} \right]; \quad C_2 \left[ \begin{array}{l} 0,03 \\ 0 \end{array} \right].
\end{aligned}$$

Проверка:

$$x_c = 2 \cdot x_B \Rightarrow 0,06 = 2 \cdot 0,03 \Rightarrow \text{условие выполняется}$$

### 9.3. Определение координат точки D<sub>2</sub>

$$\begin{aligned}
y &= -R_2 \cdot \cos \alpha_2 = -0,7 \cdot \cos(81,3) = -0,1 \text{ м}; \\
-0,1 &= 6,54x - 208,3x^2; \\
208,3x^2 - 6,54x - 0,1 &= 0. \\
D &= 6,54^2 - 4 \cdot (-0,1) \cdot 208,3 = 126; \\
x_D &= \frac{6,54 + \sqrt{126}}{2 \cdot 208,3} = 0,04 \text{ м}, \\
D_2 & \left[ \begin{array}{l} 0,04 \\ -0,1 \end{array} \right].
\end{aligned}$$

### 9.4. Определение координат точки E<sub>2</sub>

$$3\alpha_2 = 3 \cdot 81,3^\circ = 244^\circ.$$

## 10. Геометрическое место точек отрыва шаров

Определение диаметра вспомогательной окружности:

$$a = \frac{g}{\omega^2} = \frac{9,81}{1,94^2} = 2,6 \text{ м. [15]}$$

Графическое изображение траектории падения шаров представлено на Рисунке 2.2.

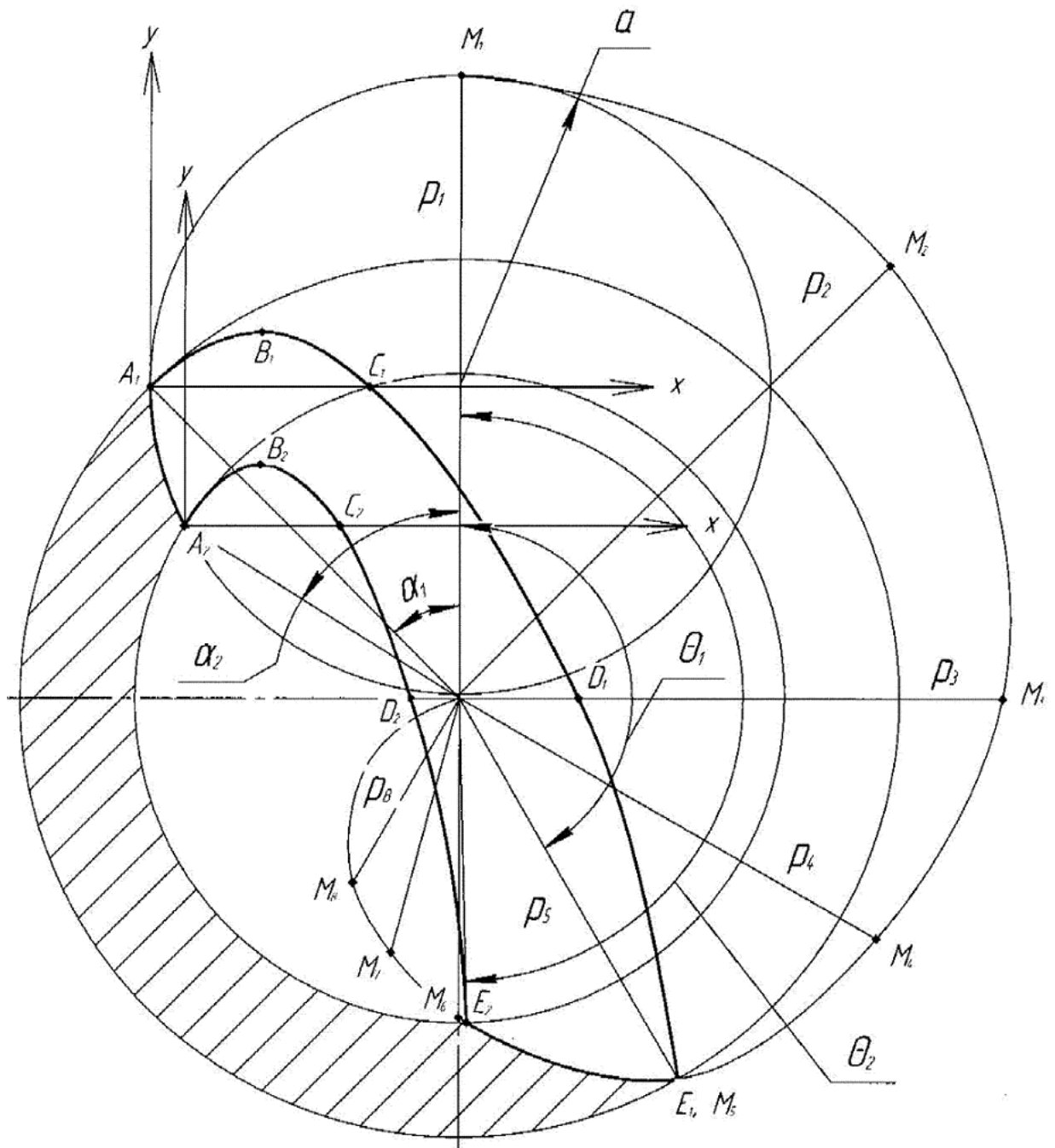


Рисунок 2.2 - Схема траектории падения шаров в мельнице МШР 2,6x13

#### 2.4 Методика проектирования футеровочных плит, обеспечивающих рациональное распределение потребляемой энергии

Часть энергии, потребляемой шаровыми мельницами, расходуется на образование новой поверхности, причем характер взаимодействия измельчаемого материала с мелющей средой позволяет сделать вывод о том, что в процессе измельчения имеют место все виды процессов разрушения: раз-

давливание, раскалывание, излом, истирание. Значительная часть потребляемой энергии расходуется на износ футеровки и мелющих тел, а также превращается в тепло, выделяемое в процессе износа и измельчения. Учитывая многофакторность и многовариантность процесса измельчения, очевидно, что количественные показатели распределения энергии могут быть определены только эмпирическим путем, а также путем обработки статистического материала накопленного в процессе эксплуатации измельчительного оборудования. Однако можно утверждать, что перераспределение потребляемой энергии в пользу энергии расходуемой на образование новой поверхности позволит сократить удельные энергетические затраты. Это подтверждается практикой эксплуатации размольного оборудования на различных предприятиях. Например, мельницы, оборудованные волновой футеровкой в процессе износа последней теряют производительность по готовому классу до 5-7%, несмотря на увеличение полезного объема. Это объясняется тем, что в процессе износа волновой профиль становится близок к гладкому. При этом отмечается повышенное скольжение шаровой загрузки по футеровке и как следствие повышенный износ последней и материала мелющих тел. [18]

## 2.5 Мощность, потребляемая мельницей МШР 2,6х13 из сети

Активная мощность, потребляемая приводным двигателем из сети, расходуется на вращение внутримельничной загрузки (полезная мощность) и на покрытие ряда потерь, среди которых — потери во вращающемся барабане, в приводном механизме и самом электродвигателе. [22]

Энергетические потери в барабане состоят из потерь холостого хода  $N_{xx}$  (получаемых при вращении мельницы без загрузки) и дополнительных потерь в подшипниках цапф  $N_{доп}$ , возникающих вследствие массы шаровой загрузки и пульпы. Полная мощность на оси барабана состоит из трех слагаемых, а именно:

$$N_{\text{б}} = N_{\text{о}} + N_{\text{х.х}} + N_{\text{доб}},$$

где  $N_0$  — полезная мощность.

Мощность на валу электродвигателя равна

$$N_{\text{в}} = \frac{N_0}{\eta},$$

где  $\eta$  — коэффициент полезного действия передач.

Коэффициент полезного действия редуктора при двух зубчатых парах принимают равным 0,98. Для крупных промышленных мельниц и мельниц самоизмельчения сумма потерь в подшипниках и зубчатых элементах составляет около 2 %.

Номинальная мощность электродвигателя выбирается с определенным запасом по сравнению с расчетной мощностью на валу, т. е.

$$N_{\text{дв}} = K_{\text{уст}} \cdot N_{\text{в}},$$

где  $K_{\text{уст}}$  — установочный коэффициент или коэффициент запаса (обычно выбирается равным 1,1-1,15 или больше).

С учетом коэффициента полезного действия двигателя (для синхронных двигателей — 0,95÷0,98) полная активная мощность, потребляемая приводом мельницы из сети, составляет:

$$N_{\Sigma} = \frac{N_0}{\eta\eta_{\Sigma}}.$$

Входящие в расчетные формулы потери слагаемые  $N_{\text{хх}}$  и  $N_{\text{дон}}$  определяются по эмпирическим формулам, полученным в результате испытаний мельниц. В частности, для определения мощности холостого хода применяют формулу:

$$N_{\text{хх}} = 3\sqrt{2}\sqrt{D_0}L\psi,$$

где  $D_0$  — номинальный диаметр барабана, м.

$$N_{\text{хх}} = 3\sqrt{2}\sqrt{2,6} \cdot 13 \cdot 0,68 = 60 \text{ кВт}.$$

Дополнительные потери на трение в подшипниках, появляющиеся при наличии измельчающей среды, пропорциональны потерям холостого хода. При этом коэффициент пропорциональности  $K_{\text{ш}}$  равен отношению массы полной загрузки мельницы к массе остальных вращающихся частей, т. е.

$$N_{\text{доп}} = K_{\text{ш}} \cdot N_{\text{х.х.}}$$

Коэффициент  $K_{\text{ш}}$  зависит от размера мельниц и их заполнения. Для больших мельниц  $K_{\text{ш}} = 0,6$ .

$$N_{\text{доп}} = 0,6 \cdot 60 = 36 \text{ кВт.}$$

Среди приближенных эмпирических формул определения установочной мощности привода существует следующая расчетная формула:

$$N_{\text{де}} = 6,77 \cdot \gamma_{\text{н}} V \cdot \sqrt{D},$$

где  $\gamma_{\text{н}}$  — насыпная масса загрузки мельницы, т/м<sup>3</sup>.

$$N_{\text{де}} = 6,77 \cdot 85 \cdot 69 \cdot \sqrt{2,6} = 927 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{с}} = 927 + 60 + 36 = 1023 \text{ кВт.}$$

Следовательно, выбираем главный электродвигатель мощностью 1000 кВт типа СДВ-16-41-16У3 с числом оборотов 375 в минуту.

## 2.6 Прочностной расчет барабана мельницы

Исходные данные:

1. Частота вращения мельницы  $n = 0,32 \text{ с}^{-1}$ .
2. Длина средней части барабана  $L_{\text{ср}} = 13,02 \text{ м}$ .
3. Расстояние между осями подшипников  $L = 15,4 \text{ м}$ .
4. Внутренний диаметр барабана  $D = 2,6 \text{ м}$ .
5. Вес барабана  $G_{\text{б}} = 898 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
6. Вес загрузочной части  $G_{\text{з. ч.}} = 216 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
7. Вес питателя  $G_{\text{п}} = 33 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
8. Вес футеровки с болтами:  
на длине первой камеры  $G_{\text{ф1}} = 530 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .  
на длине второй камеры  $G_{\text{ф2}} = 413 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
9. Вес межкамерной перегородки  $G_{\text{пер}} = 38 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
10. Вес разгрузочной части  $G_{\text{р. ч.}} = 250 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .
11. Вес сита и разгрузочного патрубка  $G_{\text{с. п.}} = 52 \cdot 10^3 \text{ Н}$ .

12. Вес муфты  $G_M = 40 \cdot 10^3$  Н.

13. Вес половины промежуточного вала  $G_{ПВ} = 25 \cdot 10^3$  Н.

14. Вес мелющих тел  $G_{Ш} = 1373 \cdot 10^3$  Н.

15. Вес сектора 1  $G_{СЕК1} = 23 \cdot 10^3$  Н.

16. Вес сектора 2  $G_{СЕК2} = 26 \cdot 10^3$  Н.

17. Вес решетки  $G_{РЕШЕТКИ} = 50 \cdot 10^3$  Н.

Сила тяжести вращающихся частей мельницы.

$$G_{ОБЩ} = G_B + G_{3,4} + G_{\phi_1} + G_{\phi_2} + G_{ПЕР} + G_{СЕК1} + G_{РЕШЕТКА} + \\ + G_{СЕК2} + G_{P,Ч} + G_{C.P.П} + G_M + G_{ПВ} + G_{ЗАГР}$$

$$G_{ОБЩ} = 898 + 216 + 530 + 413 + 38 + 23 + 50 + 26 + 250 + 52 + 40 + 25 + 861 = 3422 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$G_{ЗАГР} = 0,55(G_{Ш} + G_{МАТ}),$$

где  $G_{Ш}$  – сила тяжести шаров, Н;

$G_{МАТ}$  – сила тяжести измельчаемого материала, Н (принимается  $0,14G_{Ш}$ ).

$$G_{ЗАГР} = 0,55 \cdot 1,14 \cdot G_{Ш} = 0,627G_{Ш} = 861 \text{ кН.}$$

Центробежная сила, возникшая при вращении барабана мельницы от мелющих тел и материала, находящийся на круговой траектории, будет равна:

$$F_{Ц} = 0,365G_{Ш} = 0,365 \cdot 1373 \cdot 4 \cdot 10^3 = 501 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Направление центробежной силы  $F_{Ц}$  составляет с вертикальной осью угол  $60^\circ$ .

Равнодействующая  $Q$  центробежной силы  $F_{Ц}$  и силы тяжести мелющих тел и материала  $G_M$ , находящийся на круговой траектории, будет равна.

$$F = \sqrt{F_{Ц}^2 + G_{MT}^2 - 2F_{Ц}G_{MT} \cos 120^\circ} = \sqrt{F_{Ц}^2 + G_{MT}^2 + F_{Ц}G_{MT}},$$

где  $G_{MT} = 0,627G_{Ш}$ .

$$G_{MT} = 0,627 \cdot 1373 \cdot 4 \cdot 10^3 = 861 \cdot 10^3 \text{ Н;}$$

$$F = \sqrt{F_{Ц}^2 + G_{MT}^2 + F_{Ц}G_{MT}} = 1193 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Определяем значение равнодействующей силы в плоскости Z:

$$F_Z = F \cdot \cos 20^\circ;$$

$$F_z = 1193 \cdot \cos 20^\circ = 1121 \text{ кН}.$$

Определяем величину распределенной нагрузки от действия равнодействующей силы в плоскости Z:

$$q_z = \frac{F_z}{L_{cp}},$$

где  $L_{cp}$  - длина барабана мельницы, м.

$$q_z = \frac{1121}{13,02} = 74,6 \text{ кН / м}.$$

Определяем значение равнодействующей в плоскости Y:

$$F_y = F \cdot \sin 20^\circ;$$

$$F_y = 1193 \cdot \sin 20^\circ = 408 \text{ кН}.$$

Определяем величину распределенной нагрузки от действия равнодействующей силы в плоскости Y:

$$q_y = \frac{F_y}{L_{cp}};$$

$$q_y = \frac{383}{13,02} = 25,5 \text{ кН / м};$$

$$G_{pII} = G_{cpII} + G_M + G_{пв};$$

$$G_{pII} = 52 + 40 + 25 = 117 \text{ кН};$$

$$G_{фб} = G_B + G_{\phi 2} + G_{\phi 2};$$

$$G_{фб} = 898 + 530 + 413 = 1841 \text{ кН},$$

$G_{pII}$  - вес сита, разгрузочного патрубка, муфты и половины промежуточного вала, Н;  $G_{фб}$  - вес футерованного барабана с межкамерной перегородкой, Н. Величина распределенной нагрузки от футеровки определяется по формуле:

$$q_{фб} = \frac{G_{фб}}{L_{cp}};$$

$$q_{фб} = \frac{1841}{13,02} = 122,6 \text{ кН / м}.$$

Определяем реакцию опоры  $R_B$  в плоскости Z:

$$\sum M_{BZ} = 0;$$

$$G_{P,II} \cdot 20 - R_B \cdot 17,56 + G_{P,Ч} \cdot 17,06 + q_Z \cdot l \cdot 8,78 + G_{CEK1} \cdot 2,12 + G_{ПЕР} \cdot 5,07 + G_{CEK2} \cdot 7,27 + G_{3,Ч} \cdot 0,55 - G_{II} \cdot 1,27 + G_{Э,ПЕР} \cdot 8,78 + q_{\phi\delta} \cdot l \cdot 8,78 = 0$$

$$R_B = \frac{G_{P,II} \cdot 20 + G_{P,Ч} \cdot 17,06 + q_Z \cdot l \cdot 8,78 + G_{CEK1} \cdot 2,12 + G_{ПЕР} \cdot 5,07 + G_{CEK2} \cdot 7,27 + G_{3,Ч} \cdot 0,55 - G_{II} \cdot 1,27 + G_{Э,ПЕР} \cdot 8,78 + q_{\phi\delta} \cdot l \cdot 8,78}{17,56} =$$

$$\frac{117 \cdot 20 + 250 \cdot 17,06 + 74,6 \cdot 15,02 \cdot 8,78 + 23 \cdot 2,12 + 50 \cdot 5,07 + 26 \cdot 7,27 + 216 \cdot 0,55 - 33 \cdot 1,27 + 38 \cdot 8,78 + 122,6 \cdot 15,02 \cdot 8,78}{17,56} = 1908 \text{ кН.}$$

Определяем реакцию опоры  $R_B$  в плоскости Y:

$$\sum M_{AY} = 0;$$

$$q_Y \cdot l \cdot 8,78 - R_B \cdot 17,56 = 0;$$

$$R_B = \frac{25,55 \cdot 15,02 \cdot 8,78}{17,56} = 191,88 \text{ кН.}$$

Определим результирующее значение реакции опоры  $R_B$ :

$$R_B = \sqrt{1908_{BZ}^2 + 191,88_{BY}^2} = 1917 \text{ кН.}$$

Определяем реакцию опоры  $R_A$  в плоскости Z:

$$\sum M_{AZ} = 0;$$

$$G_{P,II} \cdot 2,44 + R_A \cdot 17,56 - G_{P,Ч} \cdot 0,5 - q_Z \cdot l \cdot 8,78 - G_{CEK1} \cdot 15,44 - G_{ПЕР} \cdot 12,49 - G_{CEK2} \cdot 10,29 - G_{3,Ч} \cdot 17,06 - G_{II} \cdot 18,83 - G_{Э,ПЕР} \cdot 8,78 - q_{\phi\delta} \cdot l \cdot 8,78 = 0;$$

$$R_A = \frac{-G_{P,II} \cdot 2,44 + G_{P,Ч} \cdot 0,5 + q_Z \cdot l \cdot 8,78 + G_{CEK1} \cdot 15,44 + G_{ПЕР} \cdot 12,49 + G_{CEK2} \cdot 10,29 + G_{3,Ч} \cdot 17,06 + G_{II} \cdot 18,83 + G_{Э,ПЕР} \cdot 8,78 + q_{\phi\delta} \cdot l \cdot 8,78}{17,56} =$$

$$\frac{-117 \cdot 2,44 + 250 \cdot 0,5 + 74,6 \cdot 15,02 \cdot 8,78 + 23 \cdot 15,44 + 50 \cdot 12,49 + 26 \cdot 10,29 + 216 \cdot 17,06 + 33 \cdot 18,83 + 38 \cdot 8,78 + 122,6 \cdot 15,02 \cdot 8,78}{17,56} = 1807 \text{ кН.}$$

Определяем реакцию опоры  $R_A$  в плоскости Y:

$$\sum M_{AY} = 0;$$

$$q_Y \cdot l \cdot 8,78 - R_A \cdot 17,56 = 0;$$

$$R_A = \frac{25,55 \cdot 15,02 \cdot 8,78}{17,56} = 191,88 \text{ кН.}$$

Определим результирующее значение реакции опоры  $R_A$ :

$$R_A = \sqrt{1807_{BZ}^2 + 191,88_{BY}^2} = 1817 \text{ кН.}$$



Производим проверку реакций в плоскости Z:

$$\sum F_Z = 0;$$

$$R_A + R_B - G_{P.II} - G_{P.Ч} - G_{Э.II} - G_{CEK1} - G_{CEK2} - G_{ПЕР} - G_{3.Ч} - G_{II} - (q_{БФ} + q_{3АГ}) \cdot x = 0$$
$$1807 + 1908 - 117 - 216 - 38 - 26 - 23 - 50 - 250 - 33 - 2961 = 0.$$

Построение эпюры распределения нагрузок в плоскости Z:

Участок 1 ( $0 < x_1 < 1,27$ ):

$$F_1 = -G_{II};$$
$$F_1 = -33 \text{ кН}.$$

$$M_{Z2} = -G_{II} x_1;$$
$$M_{Z2} = -33 x_1.$$

При  $x_1 = 0 \text{ м}$ ,  $M_{Z1} = 0 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_1 = 1,27 \text{ м}$ ,  $M_{Z1} = -41,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 2 ( $0 < x_2 < 0,5$ )

$$F_2 = -G_{II} + R_A;$$
$$F_2 = -33 + 1807 = 1774 \text{ кН}.$$

$$M_{Z2} = -G_{II}(1,27 + x_2) + R_A x_2;$$
$$M_{Z2} = -33(1,27 + x_2) + 1807 x_2.$$

При  $x_2 = 0 \text{ м}$ ,  $M_{Z2} = -41,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_2 = 0,5 \text{ м}$ ,  $M_{Z2} = 845,09 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 3 ( $0 < x_3 < 0,77$ ):

$$F_3 = -G_{II} + R_A - G_{3.Ч};$$
$$F_3 = -33 + 1807 - 216 = 1558 \text{ кН}.$$

$$M_{Z2} = -G_{II}(1,77 + x_3) + R_A(0,5 + x_3) - G_{3.Ч} \cdot x_3;$$
$$M_{Z2} = -33(1,77 + x_3) + 1807(0,5 + x_3) + 216 \cdot x_3.$$

При  $x_3 = 0 \text{ м}$ ,  $M_{Z3} = 845,09 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_3 = 0,77 \text{ м}$ ,  $M_{Z3} = 2377,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 4 ( $0 < x_4 < 0,85$ ):

$$F_4 = -G_{II} + R_A - G_{3.Ч} - q_{ФБ} \cdot x_4 - q \cdot x_4;$$
$$F_4 = -33 + 1807 - 216 - 104 - 63,4 = 1390,6 \text{ кН}.$$

$$M_{Z4} = -G_{II}(2,54 + x_4) + R_A(1,27 + x_4) - G_{3.Ч} \cdot (0,77 + x_4) - q_{ФБ} \cdot x_4^2 / 2 - q \cdot x_4^2 / 2;$$

$$M_{Z4} = -33(2,54 + x_4) + 1807(1,27 + x_4) - 216 \cdot (0,77 + x_4) - 122,6 \cdot x_4^2 / 2 - 74,6 \cdot x_4^2 / 2.$$

При  $x_4 = 0\text{м}$ ,  $M_{Z4} = 2377,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_4 = 0,85\text{м}$ ,  $M_{Z4} = 3462,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 5 ( $0 < x_5 < 2,95$ ):

$$F_5 = -G_{II} + R_A - G_{3,ч.} - q_{\PhiБ} \cdot (0,85 + x_5) - q \cdot (0,85 + x_5) - G_{CEK1}.$$

При  $x_5 = 0\text{м}$ ,  $F_{Z5} = -33 + 1807 - 216 - 104 - 63,4 - 23 = 1367,6\text{кН}$ .

При  $x_5 = 2,95\text{м}$ ,  $F_{Z5} = -33 + 1807 - 216 - 465,9 - 283,5 - 23 = 785,6\text{кН}$ .

$$M_{Z5} = -G_{II}(3,39 + x_5) + R_A(2,12 + x_5) - G_{3,ч.} \cdot (1,62 + x_5) - q_{\PhiБ} \cdot (0,85 + x_5)^2 / 2 - q \cdot (0,85 + x_5)^2 / 2 - G_{CEK1} \cdot x_5;$$

$$M_{Z5} = -33(3,39 + x_5) + 1807(2,12 + x_5) - 216 \cdot (1,62 + x_5) - 122,6 \cdot (0,85 + x_5)^2 / 2 - 74,6 \cdot (0,85 + x_5)^2 / 2 - 23 \cdot x_5.$$

При  $x_5 = 0\text{м}$ ,  $M_{Z5} = 3462,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_5 = 2,95\text{м}$ ,  $M_{Z5} = 6473,6\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 6 ( $0 < x_6 < 2,2$ ):

$$F_6 = -G_{II} + R_A - G_{3,ч.} - q_{\PhiБ} \cdot (3,8 + x_6) - q \cdot (3,8 + x_6) - G_{CEK1} - G_{IIEP}.$$

При  $x_6 = 0\text{м}$ ,  $F_{Z6} = -33 + 1807 - 216 - 465,9 - 283,5 - 23 - 50 = 735,6\text{кН}$ .

При  $x_6 = 2,2\text{м}$ ,  $F_{Z6} = -33 + 1807 - 216 - 735,6 - 447,6 - 23 - 50 = 301,8\text{кН}$ .

$$M_{Z6} = -G_{II}(6,34 + x_6) + R_A(5,07 + x_6) - G_{3,ч.} \cdot (4,57 + x_6) - q_{\PhiБ} \cdot (3,8 + x_6)^2 / 2 - q \cdot (3,8 + x_6)^2 / 2 - G_{CEK1} \cdot (2,95 + x_6) - G_{IIEP} \cdot x_6;$$

$$M_{Z6} = -33(6,34 + x_6) + 1807(5,07 + x_6) - 216 \cdot (4,57 + x_6) - 122,6 \cdot (3,8 + x_6)^2 / 2 - 74,6 \cdot (3,8 + x_6)^2 / 2 - 23(2,95 + x_6) - 50 \cdot x_6.$$

При  $x_6 = 0\text{м}$ ,  $M_{Z6} = 6473,6\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_6 = 2,2\text{м}$ ,  $M_{Z6} = 7615\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 7 ( $0 < x_7 < 1,5$ ):

$$F_6 = -G_{II} + R_A - G_{3,ч.} - q_{\PhiБ} \cdot (6 + x_7) - q \cdot (6 + x_7) - G_{CEK1} - G_{IIEP} - G_{CEK2}.$$

При  $x_7 = 0\text{м}$ ,  $F_{Z7} = F_6 = -33 + 1807 - 216 - 735,6 - 447,6 - 23 - 50 - 26 = 275,8\text{кН}$ .

При  $x_7 = 1,5\text{м}$ ,  $F_{Z7} = F_6 = -33 + 1807 - 216 - 919,5 - 559,5 - 23 - 50 - 26 = -20\text{кН}$ .

$$M_{Z7} = -G_{II}(8,54 + x_7) + R_A(7,27 + x_7) - G_{3,ч.} \cdot (6,77 + x_7) - q_{\PhiБ} \cdot (6 + x_7)^2 / 2 - q \cdot (6 + x_7)^2 / 2 - G_{CEK1} \cdot (5,15 + x_7) - G_{IIEP} \cdot (2,2 + x_7) - G_{CEK2} \cdot x_7;$$

$$M_{Z7} = -33(8,54 + x_7) + 1807(7,27 + x_7) - 216 \cdot (6,77 + x_7) - 122,6 \cdot (6 + x_7)^2 / 2 - 74,6 \cdot (6 + x_7)^2 / 2 - 23(5,15 + x_7) - 50 \cdot (2,2 + x_7) - 26 \cdot x_7.$$

При  $x_7 = 0\text{м}$ ,  $M_{Z7} = 7615\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_7 = 1.5\text{м}$ ,  $M_{Z7} = 7848,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 8 ( $0 < x_8 < 2,44$ ):

$$F_8 = -G_{P,II};$$

$$F_8 = -117\text{кН}.$$

$$M_{Z8} = -G_{P,II} \cdot x_8;$$

$$M_{Z8} = -52 \cdot x_8.$$

При  $x_8 = 0\text{м}$ ,  $M_{Z8} = 0\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_8 = 2.44\text{м}$ ,  $M_{Z8} = -285,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 9 ( $0 < x_9 < 0,5$ )

$$F_9 = -G_{P,II} + R_A;$$

$$F_9 = -117 + 1908 = 1791\text{кН}.$$

$$M_{Z9} = -G_{P,II}(2,44 + x_9) + R_B x_9;$$

$$M_{Z9} = -117(2,44 + x_9) + 1908 x_9.$$

При  $x_9 = 0\text{м}$ ,  $M_{Z9} = -285,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_9 = 0.5\text{м}$ ,  $M_{Z9} = -479\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 10 ( $0 < x_{10} < 0,77$ )

$$F_{10} = -G_{P,II} + R_B - G_{P,III};$$

$$F_{10} = -117 + 1908 - 250 = 1541\text{кН}.$$

$$M_{Z10} = -G_{P,II}(3,71 + x_{10}) + R_B(1,27 + x_{10}) - G_{P,III}(0,77 + x_{10});$$

$$M_{Z10} = +117(2,99 + x_{10}) - 1908(0,5 + x_{10}) + 250(0,5 + x_{10}).$$

При  $x_{10} = 0\text{м}$ ,  $M_{Z10} = -479\text{кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_{10} = 0.77\text{м}$ ,  $M_{Z10} = -1874,5\text{кН} \cdot \text{м}$ .

Участок 11 ( $0 < x_{11} < 7,5$ )

$$F_{11} = -G_{P,II} + R_B - G_{P,III} - q_{БФ} \cdot (2,94 + x_{11}) - q \cdot (2,94 + x_{11});$$

$$F_{11} = -117 + 1908 - 250 - 919.5 - 559.5 = 58\text{кН}.$$

При  $x_{11} = 0\text{м}$ ,  $F_{Z11} = -117 + 1908 - 250 = 1541\text{кН}$ .

При  $x_{11} = 7.5\text{м}$ ,  $F_{Z11} = -117 + 1908 - 250 - 919.5 - 559.5 = -58\text{кН}$ .

$$M_{Z11} = G_{P,II}(3,71 + x_{11}) - R_B(1,27 + x_{11}) + G_{P,III}(0,77 + x_{11}) + q_{БФ} \cdot x_{11}^2 / 2 + q \cdot x_{11}^2 / 2;$$

$$M_{Z11} = 117(3,71 + x_{11}) - 1908(1,27 + x_{11}) + 250(0,77 + x_{11}) + 122.6 \cdot x_{11}^2 / 2 + 74.6 \cdot x_{11}^2 / 2.$$

При  $x_{11} = 0,0\text{ м}$ ,  $M_{z11} = -1874,5\text{ кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_{11} = 7,5\text{ м}$ ,  $M_{z11} = -7807\text{ кН} \cdot \text{м}$ .

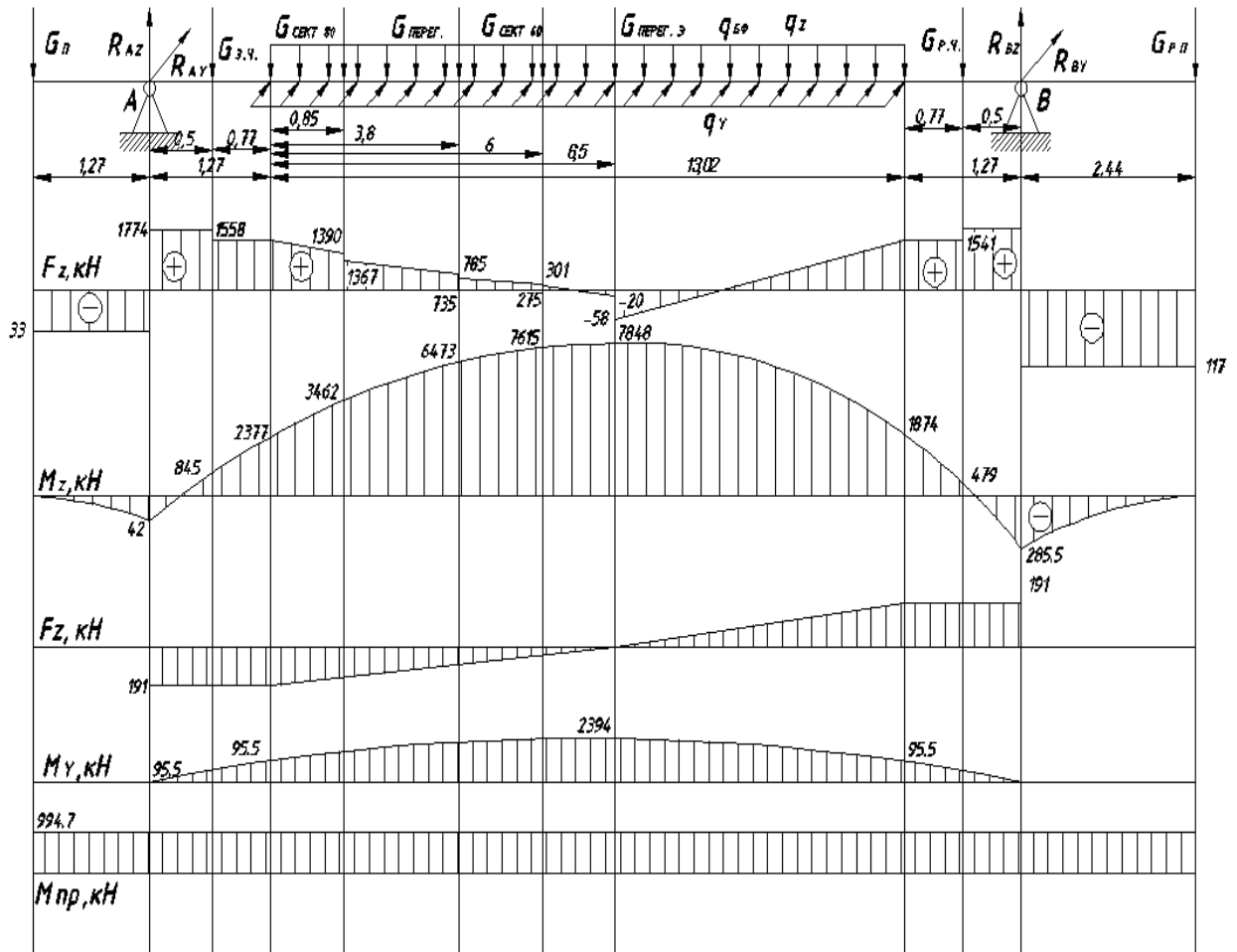


Рисунок 2.3 - Схема к расчету трубной мельницы  $\text{Ø} 2,6 \times 13$

Определение максимального изгибающего момента в плоскости Y:

Участок 1 ( $0 < x_1 < 1,27$ )

$$F_1 = R_B;$$

$$F_1 = 191\text{ кН}.$$

$$M_1 = R_B \cdot x_1;$$

$$M_1 = 191 \cdot 0,5 = 95,5\text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Участок 2 ( $0 < x_2 < 6,5$ )

$$F_1 = R_A - q \cdot l;$$

$$F_2 = 191 - 30 \cdot 7,51 = 0\text{ кН}.$$

$$M_2 = qx_2^2 / 2 + R_B(1,27 + x_2);$$

$$M_2 = q \cdot 28,2 + R_B \cdot 8,78.$$

При  $x_2 = 0\text{ м}$ ,  $M_{z2} = 95,5\text{ кН} \cdot \text{м}$ .

При  $x_{11} = 6,5\text{ м}$ ,  $M_{z11} = 2394,1\text{ кН} \cdot \text{м}$ .

$$M_y = 2394,1\text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Проверка прочности барабана в опасном сечении. В данном случае проверке подвергнем сечения с резким скачком приложенных сил или максимальными значениями моментов.

Определим максимальный изгибающий момент на участке 7

$$\begin{aligned} -G_{II} + R_A - G_{3.Ч.} - q_{\PhiБ} \cdot x_7 - q \cdot x_7 - G_{CEK1} - G_{ПЕР} - G_{CEK2} &= 0. \\ x_7 &= \frac{-G_{II} + R_A - G_{3.Ч.} - G_{CEK1} - G_{ПЕР} - G_{CEK2}}{q_{\PhiБ} + q}; \\ x_7 &= \frac{-33 + 1807 - 216 - 23 - 50 - 26}{122.6 + 74.6} = 7.4\text{ м}. \end{aligned}$$

Получим длину участка 7 равную 1,4 м.

$$\begin{aligned} M_{z7} &= -G_{II}(8,54 + x_7) + R_A(7,27 + x_7) - G_{3.Ч.} \cdot (6,77 + x_7) - q_{\PhiБ} \cdot (6 + x_7)^2 / 2 - q \cdot (6 + x_7)^2 / 2 \\ &- G_{CEK1} \cdot (5,15 + x_7) - G_{ПЕР} \cdot (2,2 + x_7) - G_{CEK2} \cdot x_7; \\ M_{z7} &= -33(8,54 + x_7) + 1807(7,27 + x_7) - 216 \cdot (6,77 + x_7) - 122.6 \cdot (6 + x_7)^2 / 2 \\ &- 74.6 \cdot (6 + x_7)^2 / 2 - 23(5,15 + x_7) - 50 \cdot (2,2 + x_7) - 260 \cdot x_7. \\ M_{z7} &= 7480\text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Значение момента и точка его приложения, находятся на небольшом удалении от точки приложения максимального момента, поэтому расчет будем производить именно по максимальному изгибающему моменту.

Определение максимального результирующего изгибающего момента:

$$\begin{aligned} M_{МАХ.ИЗГ} &= \sqrt{M_{умax}^2 + M_{zmax}^2}; \\ M_{МАХ.ИЗГ} &= \sqrt{2364^2 + 7848^2} = 8196\text{ кН}. \end{aligned}$$

Определим крутящий момент, действующий на участке от муфты до первого (со стороны муфты) подшипника:

$$T = \frac{1000 \cdot P}{\omega},$$

где  $P$  – мощность двигателя, кВт;

$\omega$  – угловая скорость мельницы, рад/с:

$$\omega = 2\pi n;$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 0,32 = 2,01 \text{ рад/с};$$

$$T = \frac{1000 \cdot 2000}{2,01} = 994,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Приведенный момент определяется по формуле:

$$M_{np} = \sqrt{M_{MAX.ИЗГ}^2 + T^2}.$$

где  $M_{ИЗГ}$  – максимальный изгибающий момент,  $\text{кН} \cdot \text{м}$ .

$$M_{np} = \sqrt{8196^2 + 994,7^2} = 8256 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определяем напряжение, возникающее в барабане, по формуле:

$$\sigma = \frac{M_{np}}{k \cdot W},$$

где  $k = 0,8$  – коэффициент, учитывающий ослабление сечения вырезами и отверстиями для болтов;  $W$  – момент сопротивления сечения корпуса,  $\text{м}^3$ :

$$W = \pi \cdot S \cdot R_H^2,$$

где  $S$  – толщина стенки барабана, м;

$R_H$  – наружный радиус корпуса, м  $R_H = 1,34 \text{ м}$ .

$$W = 3,14 \cdot 0,04 \cdot 1,34^2 = 0,34 \text{ м}^3;$$

$$\sigma = \frac{8256}{0,8 \cdot 0,34} = 30354 \text{ кН} / \text{м}^2 = 30,35 \text{ МПа}.$$

Барабан мельницы обычно сваривают из стали М16С с временным сопротивлением  $\sigma_{BP} = 385 \text{ МПа}$  относительным удлинением 22% и ударной вязкостью 0,4 мПа. Предел выносливости этой стали при характерной для данного случая нагрузке  $\sigma_{-1} = 0,33; \sigma_{BP} = 127 \text{ МПа}$ .

Допускаемое напряжение в сечениях барабана, изготовленного из этой стали, не должно превышать

$$\sigma_{np} = 31,4 \text{ МПа},$$

$$30,35 \leq 31,4 \text{ МПа}.$$

## 2.6 Производительность мельницы

Производительность трубной шаровой мельницы определяется по формуле:

$$Q = 6.45 \cdot V \cdot \sqrt{D_{св}} \cdot \left(\frac{m}{V}\right)^{0.8} \cdot q \cdot K_{уд},$$

где  $D_{CB}$  – диаметр мельницы в свету, м:

$$D_{CB} = 2 \cdot R_{CB};$$

$$D_{CB} = 2 \cdot 1 = 2\text{ м};$$

$q$  - поправочный коэффициент, учитывающий тонкость помола,  $q = 0,95$ ;

$K_{уд}$  - удельная производительность, т/кВт-ч,  $K_{уд} = 0,035$ ;

$m$  – масса мелющих тел, т;

$V$  – полезный объём мельницы,  $\text{м}^3$ .

$$V = \frac{\pi \cdot D_{св}^2 \cdot L}{4},$$

где  $L$  - длина барабана за вычетом толщины межкамерных перегородок,

$$L = 12,54\text{ м}$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 2^2 \cdot 12,54}{4} = 40 \text{ м}^3;$$

$$Q = 6,45 \cdot 40 \cdot \sqrt{2} \cdot \left(\frac{85}{40}\right)^{0.8} \cdot 0,95 \cdot 0,035 = 25 \text{ т/ч.} \quad [16]$$

## 2.8 Влияние профиля и материала футеровочных плит на их износостойкость

С целью защиты внутренней поверхности барабана шаровых мельниц от износа и интенсификации процесса измельчения внутренняя поверхность барабана и торцовые стенки футеруются броневыми плитами. От геометрического профиля футеровок существенно зависит их износ, интенсивность измельчения исходного сырья, удельный расход электроэнергии и измельчающих тел. Вопросам усовершенствования конструкции броневых плит уделяется большое внимание, т.к. основной причиной снижения коэффициента технического использования барабанных мельниц является интенсивный износ футеровок и частые простои для проведения планово-предупредительных ремонтов.

Профиль футеровки барабана оказывает значительное влияние на механизм движения дробящей среды. В связи с этим при его выборе руководствуются как уменьшением износа футеровки, так и желательным характером движения загрузки. Для усиления ударного воздействия стремятся увеличить коэффициент сцепления футеровки с дробящей средой, а для роста истирающего эффекта — уменьшить. При этом учитывают, что износостойкость футеровки в значительной мере определяется ее твердостью. По мере износа футеровки пропорционально увеличивается объем барабана, а значит и полезная мощность. Хотя опыт эксплуатации мельниц показывает, что общие технико-экономические показатели работы мельниц с тонкой футеровкой хуже, чем мельниц с наиболее толстой футеровкой.

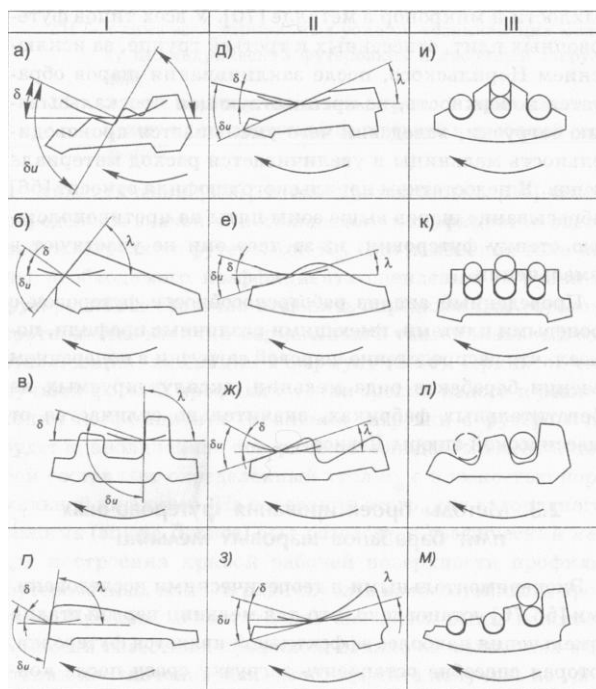


Рисунок 2.4 - Классификация футеровочных плит по геометрическим признакам поперечного сечения

В настоящее время в цементной промышленности на мельницах первой стадии измельчения применяются броневые плиты, изготовленные из высокомарганцовистых сталей типа 110Г13Л, а также белых чугунов типа ИЧ210Х12Г5 (ВУ-4) и ИЧ210Х30Г3 (ВУ-10).



Для шаровых мельниц первой стадии измельчения в настоящее время в качестве футеровки цилиндрической части барабана применяют броневые плиты с разнообразными профилями поперечного сечения: волновой, Крюкова, каскадный, балочный, ребристый, норильский, ступенчатый и другие. Это ведет к увеличению номенклатуры выпускаемых литейными цехами деталей и затруднению унификации ремонтных комплектов. Большое количество типов футеровочных плит испытанных на предприятиях, можно разделить на три группы по геометрическим признакам поперечного сечения (рис. 12): первая группа — броневые плиты с углом подъема  $X$  рабочих поверхностей больше  $45^\circ$ ; вторая группа — броневые плиты с углом подъема  $X$  рабочих поверхностей меньше  $45^\circ$ ; третья группа — самофутерующиеся броневые плиты. Углом подъема рабочих поверхностей  $X$  будем называть угол между касательной к рабочей поверхности футеровки и касательной к окружности радиусом  $R$  (рис. 12).

Износостойкость футеровочных плит с профилями, отнесенными к первой группе при прочих равных условиях, оказалась выше износостойкости футеровочных плит второй группы. Это объясняется тем, что плиты, отнесенные к первой группе способны остановить загрузку сразу же после контакта и не допустить проскальзывания по футеровке. По футеровочным плитам второй группы имеет место проскальзывание загрузки, о чем говорит образование на их поверхности радиальных канавок — выработок в процессе эксплуатации.

При небольших углах атаки  $\delta$ , приведенных к гладкой футеровке (Рисунок 2.4), истинные углы атаки и шаровой загрузки по футеровочным плитам, отнесенным к первой группе, близки к  $90^\circ$ . При этом осуществляется надежный захват шаров без проскальзывания, что обеспечивает повышение производительности мельницы.

Футеровочные плиты, отнесенные к третьей группе профилей, имеют повышенную износостойкость за счет эффекта заклинивания шаров в пазах. В данном случае после заклинивания изнашивается не футеровка, а зак-

линные шары. Кроме того повышенной износостойкости этого типа футеровок способствует лучшая прокаливаемость в процессе термической обработки, отсутствие рыхлости и микропор в металле. У всех типов футеровочных плит, отнесенных к третьей группе, за исключением Норильского, после заклинивания шаров образуется поверхность, не препятствующая проскальзыванию загрузки, вследствие чего уменьшается производительность мельницы и увеличивается расход материала шаров. К недостаткам норильского профиля относят забрасывание шаров выше зоны пяты на противоположную стенку футеровки, из-за чего они не участвуют в измельчении.

## 2.7 Сталь Гадфильда и ее стойкость к износу

На листе графической части проекта изображен фрагмент футеровки шаровой мельницы диаметром 2,6 м и длиной 3,14 м. Фрагмент состоит из гладкой футеровки с использованием лифтеров. Данная конструкция выполняется из стали Гадфильда.

Вместе с тем известно, что эта сталь обладает высокой эрозионной стойкостью только при интенсивном наклепе, имеющем место при работе детали в условиях значительных напряжений и динамических нагрузок. Так футеровки центробежных дробилок, изготовленные из стали Гадфильда, способны выдержать размол до 2000 – 4000 т твердого гранита, вследствие наклепа возникающего в результате удара гранита о поверхность футеровки. Щеки щековых дробилок, при работе по таким же твердым породам, наклепываются до твердости 500 *HV* (предельная твердость, достигаемая сталью 110Г13Л ~ 600 *HV*), повышение твердости, в свою очередь, уменьшает интенсивность износа щек. При отсутствии значительных напряжений и динамических нагрузок каким-либо заметным преимуществом в эрозионной стойкости (по сравнению с обычной среднеуглеродистой сталью) сталь Гадфильда не обладает. Не происходит заметного наклепа футеровочных

плит из стали 110Г13Л при работе шаровых мельниц, когда мелющие тела воздействуют на футеровку только через слой клинкера и добавок. [19]

Как показывает длительный опыт эксплуатации, лифтер всегда изнашивается более интенсивно по сравнению с плитой. Поэтому требуется две-три замены лифтеров прежде, чем износится плита. Эта конструкция снижает производительность мельниц по питанию, требует дополнительных материальных затрат по замене лифтеров.

Немаловажной проблемой данного профиля являются «мертвые» зоны. Материал замедляет свое движение и качество полученной смеси не всегда соответствует заявленному. Такая пульпа подходит только для портландцемента марки 400.

По данным ОАО «Ангарскцемент» вес такой футеровки для всего барабана составляет 65854 кг. Следовательно, масса мельницы с футеровкой (без массы электрооборудования, электроаппаратуры и мелющих тел) составляет 206500 кг.

## 2.8 Износостойкость белых чугунов

Увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей машин — важнейшая проблема современного машиностроения. Малый срок службы деталей снижает экономическую эффективность многих машин и промышленного оборудования и приводит к безвозвратным потерям металла. Особенно важно обеспечить достаточно длительные сроки службы быстроизнашивающихся деталей в горнорудной, угольной, цементной, строительной и других отраслях промышленности, связанных с переработкой высокоабразивного минерального сырья (руды, угля, песка и др.).

Белые чугуны благодаря наличию в их структуре твердых составляющих - карбидов имеют износостойкость в 5-10 раз выше, чем конструкционные стали. В белых чугунах, специально предназначенных для изготовления износостойких отливок, углерод содержится в пределах 2,5—3,6%. Во избе-



								ты			
Высокохромистый клаймэк с аллой-42 (сплав 15-3НС)	3- 3,6	12 - 18	0,3 - 0,6	0,5 - 0,9	-	0,0 6	0,1	2,75 - 3,25 Мо	60- 65	Карбиды (Cr,Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub> + мартенсит + аустенит с точечными карбидами	Детали шламовых насосов, колочки спиральных классификаторов, бронеплиты размольных мельниц. детали со стенками толщиной до 75 мм.
Высокохромистый 15-3LC	2,4 - 3,0	11, 5- 18	0,3 - 0,6	0,5 - 0,9	-	0,0 6	0,1	3,0 – 3,5 Мо	60- 65	То же	Те же детали с толщиной стенки до 125 мм.
Высокохромистый ИЧХ12 М (300X12 М)	2,6 - 3,0	11, 5- 18, 0	≤ 0,7	0,5 - 1,0	-	0,0 6	0,1	1,4 – 1,6 Мо	81- 63	То же	Детали шламовых насосов, гидроциклонов и другие детали со стенками до 30 мм.
Высокохромистый ИЧХ12 ГЗМ (300X12 ГЗМ)	2,5 - 3,2	12 - 15	0,4 - 0,7	3,4 - 3,9	-	0,0 6	0,1	0,5 -0,8 Мо	61- 63	То же	Детали шламовых насосов, гидроциклонов, классификаторов, флотомашин, бро-

											неплиты мельниц, валки и плиты среднеходных мельниц. Детали со стенками толщиной до 150 мм.
Высокохромистый ИЧХ12 Г5 (300X12 Г5)	2,6 – 3,0	11 – 18	$\leq$ 0,7	4,5 – 5,2	-	0,0 6	0,1	-	59- 62	То же	Детали шламовых насосов, колена пульповодов, бронеплиты рудоспусков и шаровых мельниц и другие детали со стенками толщиной до 90 мм.
Высокохромистый ИЧХ12 Г5М (300X12 Г5М)	2,4 – 3,0	12 – 15	0,4 – 0,7	4,8 – 5,0	-	0,0 6	0,1	0,2- 0,4 Мо	60- 63	То же	Те же детали со стенками толщиной до 200 мм.

Увеличение в белых чугунах содержания хрома выше 10 % приводит к образованию в их структуре первичного карбида тригонального типа, имеющего формулу  $(Cr, Fe)_7C_3$ .

При кристаллизации аустенитной хромистокарбидной эвтектики карбиды типа  $M_7C_3$  более тверды и дисперсны, чем карбиды  $M_3C$ , что обеспечивает чугунам с карбидами с карбидами первого типа более высокую износостойкость.

стойкость и прочность. Микротвердость карбидов  $(Cr, Fe)_7C_3$  составляет 1200-1500 кгс/мм<sup>2</sup>, что значительно превышает твердость кварца (~1000 кгс/мм<sup>2</sup>). Отсюда становится понятной высокая износостойкость высокохромистых чугунов в условиях эксплуатации.

Выводы о превосходстве мартенситной металлической основы относятся к условиям абразивного изнашивания при малых углах атаки и при отсутствии значительных ударных нагрузок.

Если при малых углах атаки с увеличением содержания углерода и, следовательно, количества карбидной фазы износостойкость сплавов растет, то при больших углах атаки (70°) износостойкость практически постоянна при всех содержаниях углерода (табл. 3).

*Таблица 3*

Износостойкость (в мин/мм<sup>3</sup>) чугунов с 12 % Cr в зависимости от угла атаки и содержания углерода

Содержание углерода, %	HV	10°	25°	70°
3,94	850	-	8,20	6,52
2,8	790	11,2	8,05	6,84
1,89	750	-	5,30	6,66
1,53	720	-	4,38	6,42

По условиям эксплуатации детали из этих чугунов можно разделить на две группы: работающие в условиях абразивного изнашивания; работающие в условиях абразивного изнашивания, сопровождаемого ударами. Это деление условно, так как нет точных данных о величине ударных нагрузок при эксплуатации, и поэтому трудно точно разграничить условия работы деталей, а также установить тот уровень ударных нагрузок, при котором применение деталей из белых чугунов невозможно.

В настоящее время белые чугуны применяются в основном для изготовления следующих деталей:

- в горнорудной и цементной промышленности — бронеплиты (футеровки) шаровых и стержневых мельниц; мелющие тела (шары, цельпебсы) для размола руды и цемента; рабочие колеса, корпуса, бронедиски шламовых насосов; трубы и колена трубопроводов, транспортирующих пульпу; колосниковые решетки; детали флотационных установок; детали машин для изготовления агломерата; брони рудоспусков;

- при производстве кокса — детали дробилок; диски сортирующих решеток; детали вентиляторов, дымососов; трубы и колена; рабочие колеса, корпуса, бронедиски шламовых насосов; установки для транспортировки золы; футеровки мельниц; валки и плиты среднеходных мельниц;

- в литейном производстве — детали песко- и дробеструйных и дробе-метных установок; лопатки пескометов; детали агрегатов для приготовления формовочных смесей; колена и трубы пневмотранспорта;

- в прокатном производстве — валки;

- при производстве огнеупоров, кирпича, бетона — лопасти и другие детали смесителей; керны, коробки для изготовления кирпича; бронеплиты (футеровки) мельниц.

Анализ данных эксплуатационных испытаний, проведенных ВНИИ-ПТУглемашем, показывает, что износостойкость белых чугунов значительно превосходит износостойкость сталей Ст. 3, 40ХЛ, 110Г13Л. Наблюдается хорошее соответствие между результатами лабораторных исследований износостойкости сплавов с износостойкостью их в условиях эксплуатации реальных деталей.

Так, износостойкость броней из стали 110Г13Л при испытании на стенде ЛП-3М соотношение между износостойкостью чугуна ИЧХ12Г5 и стали 110Г13Л составляло 4: 1. Интересно отметить, что валки и плиты углеразмольной мельницы МВС-150 из чугуна ИЧХ12Г3М потеряли в массе в 2 раза меньше, чем эти детали из нихарда, за равное время работы.



Соответствие результатов эксплуатационных и стендовых испытаний дает основание считать, что найденные зависимости износостойкости от структуры, состава сплава и других факторов могут быть использованы при изыскании составов износостойких белых чугунов.

Приведенные в таблице 2.2 данные позволяют оценить  $\mathcal{E}_0$  нескольких материалов и целесообразность их применения.

Стоимость литых сплавов определялась из условия изготовления из них сравнительно простых отливок типа бронеплит мельниц при выходе годового 60%. [10]

Таблица 2.2 - Относительная износостойкость и относительная стоимость материалов

Материал	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Относительная износостойкость	Относительная стоимость 1 т материала
Сталь 20Л (эталон)	7,85	1	1
Сталь 110Г13Л	7,85	1,6	1,14
Чугун ИЧХ12Г3М	7,6	8,5	1,7

Таким образом, целесообразно применять белый чугун для изготовления бронеплит предложенного профиля.

В первой камере устанавливается подъемная броня, во второй камере – сортирующая броня. Шнековая выкладка футеровки предотвращает появление «мертвых» зон, что позволяет достичь однородности пульпы на выходе. Также, применение болтов с шейкой позволяет не проверять и подтягивать болты (так как их головка сбивается после закрепления брони).

## 2.9 Модернизация футеровки

Приведенный анализ материалов и схем выкладки футеровок шаровых мельниц позволил сделать вывод о целесообразности модернизации футеровки трубных шаровых мельниц МШР 2,6х13, установленных в цехе помола на ОАО «Ангарскцемент», по следующим направлениям:

1. Изменение профиля футеровки;
2. Изменение материала бронеплит;
3. Изменение выкладки футеровочных плит.

Предлагаемая модернизация футеровки позволит решить:

1. Появление «мертвых» зон при помоле материала. Это позволяет достичь однородности пульпы на выходе.

2. Увеличение срока службы футеровки примерно на 25% за счет изменения материала на высокохромистый чугун. Уменьшение количества капитальных ремонтов значительно сократит затраты на монтаж.

3. Изменение профиля футеровки позволяет увеличить тонкость помола. Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании пробы цемента сквозь сито с сеткой N 008 по ГОСТ 10178-85 проходило не менее 95% массы просеиваемой пробы. Такой цемент характеризуется пониженной сопротивляемостью коррозии. В строительной отрасли его применяют для штукатурных и кладочных работ, он входит в состав строительных растворов. Если в состав бетона ввести цемент марки М 500 Д0, то бетон будет обладать долговечностью, морозо- и водостойкостью. Такой цемент используется во время восстановительных и аварийных работ.

4. Более тонкий помол позволяет установить трубную мельницу МШР 2,6х13 на замкнутый цикл помола клинкера и добавок и получать цемент марки 500.

## 2.10 Помол цемента по замкнутому циклу

В мельницах открытого цикла материал проходит через рабочее пространство однократно без классификации. Замкнутый цикл предусматривает классификацию материала в спиральных классификаторах, гидроциклонах

или воздушных сепараторах, возвращение некондиционного промышленного продукта в мельницы для доизмельчения. Работа мельницы по замкнутому циклу более рациональна, производительна и экономична, т. к. готовый продукт своевременно удаляется и не переизмельчается.

Изменение профиля футеровки позволило получить большую тонкость помола. Следовательно, цементную мельницу можно перевести в работу по замкнутому циклу, который позволяет получать портландцемент марки 500 (ПЦ 500 Д0) по ГОСТ 10178-85 (Рисунок 2.5):

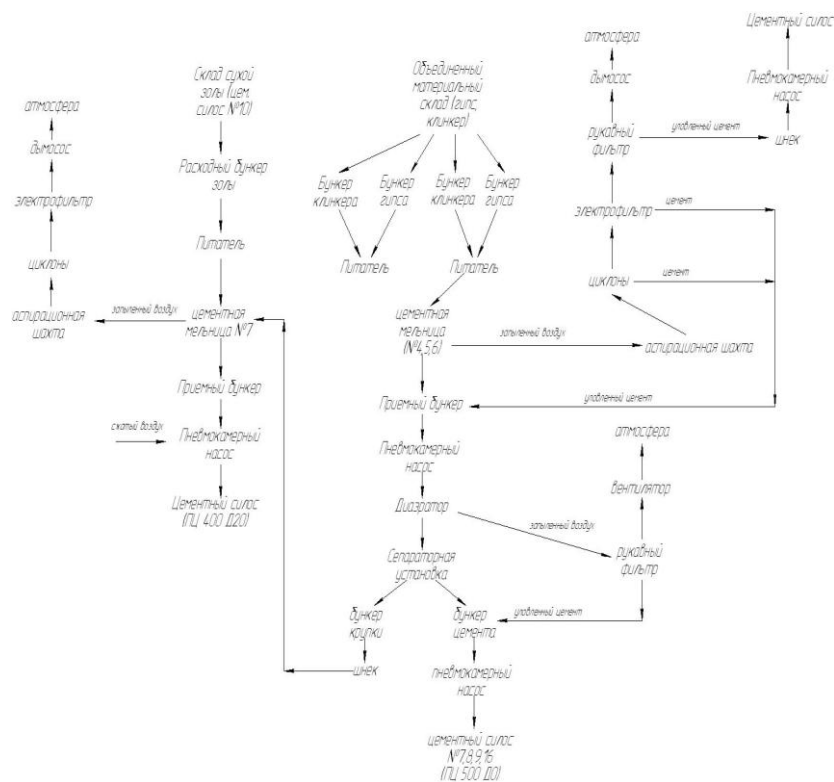


Рисунок 2.5 - Схема помола цемента по замкнутому циклу

Помол цемента по замкнутому циклу осуществляется следующим образом:

С объединенного материального склада клинкер и гипс мостовым грейферным краном загружаются в расходные бункера (поз. 1,2) цементных мельниц № 4,5,6. В мельницах клинкер измельчается до полупродукта, остаток на сите №008 до 15-20% и поступает в приемные бункера мельниц (поз.9)

и далее поступает в пневмовинтовые насосы (поз. 12) мельниц или в пневмокамерные насосы (поз. 10). Насосами грубомолотый цемент подается в верхнее приемно-распределительное устройство сепаратора с выносными циклонами (поз. 13). В результате классификации, осуществляемой сепаратором, материал разделяется на крупную фракцию (крупку) и готовый продукт - цемент М-500. Крупка из сепаратора шнеком (поз. 14) подается по следующей схеме: на домол в цементную мельницу №7, работающую по открытому циклу помола.

Загрузка шихты в мельницу №7 зависит от качества и количества вводимой крупки.

Предварительный грубый помол клинкера можно выполнять как всеми тремя мельницами №4,5,6., так и отдельно каждой № 4,5,6, или двумя мельницами №4,5 или № 4,6 или №5,6.

Готовый продукт из циклонов сепаратора поступает в приемный бункер (поз.9), установленный под сепаратором. В сепараторе происходит отделение и удаление из сферы помола мелких фракций. Из сепаратора цемент самотеком поступает в пневмокамерный насос (поз.11) и далее по цемпрово-ду подается в один из цемсилосов №7,8,9,16 (поз.22). Избыточный запыленный воздух из сепаратора под действием разряжения, создаваемого вентилятором (поз. 15) подается в рукавный фильтр (поз.30) и после очистки сбрасывается в атмосферу. Уловленная пыль шнеком возвращается в бункер (поз.9) готового цемента. [23]

Переход на замкнутый цикл помола цемента мельничных агрегатов, работающих по открытому циклу производится следующим образом:

1. Пуск сепараторной установки производится в соответствии с п.5.4.3. настоящей инструкции.
2. Поочередно включаются в работу пневмовинтовые насосы мельниц (№ 4, 5 и 6) закрываются шиберы на пневмокамерные насосы.
3. Пневмокамерные насосы освобождаются от цемента и продуваются цемпровода от пневмокамерных насосов мельниц, переведенных в ра-

боту замкнутого цикла.

4. Питание мельниц, переведенных на замкнутый цикл, регулируется соответствующим образом по режиму замкнутого цикла.

5. Переводятся тумблеры режима работы мельниц на пульте управления сепараторной установки в положение «замкнутый».

6. При установившемся режиме работы (тонкость помола до 5% остаток на сите №008, дисперсности не ниже 3900 кг/м<sup>2</sup>) помол цемента переводится в силос для марки «500» по указанию лаборатории. [23]

### 3 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРОНЕПЛИТЫ МЕЛЬНИЦЫ

#### 3.1 Назначение и конструкция детали, технические условия на изготовление

Чертёж детали представлен на листе графической части проекта. Бронеплиты подвергаются высокому механическому износу, изготавливаются обычно из износостойкой высокомарганцевой стали 110Г13Л, а также из хромистых и хром-ванадиевых сталей, что обеспечивает им очень высокий межремонтный ресурс. В дипломном проекте предложено изменить материал на высокохромистый чугун ИЧХ12Г3М. Бронеплиты изготавливают литьем.

#### Технология изготовления бронеплиты

Во всех случаях при толщине бронеплиты более 50 мм ее следует изготавливать методами, ускоряющими процесс кристаллизации.

Технология изготовления бронеплит в песчаных формах с холодильником может быть быстро налажена, требует меньших затрат на оснастку и меньшего контроля (по сравнению с отливкой в кокили) для получения отливок без брака, особенно по трещинам.

Эту технологию можно рекомендовать при изготовлении небольших партий деталей, когда затраты на дорогостоящие кокили не оправдываются, и в случае изготовления сложных отливок, которые трудно получить без брака в кокилях.

Материал бронеплиты – чугун марки ИЧХ12Г3М. Данные о химическом составе и механических свойствах стали представлены в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 - Химический состав чугуна

<b>C</b>	<b>Cr</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>S</b>	<b>P</b>	<b>Др. эл-ты</b>
2,5- 3,2	12-15	0,4-0,7	3,4-3,9	0,06	0,1	0,5 –0,8 Мо

Таблица 3.2 - Механические свойства чугуна

<b>Марка стали</b>	<b>HRC</b>	<b>Микроструктура</b>
ИЧХ12Г3М	61-63	Карбиды (Cr,Fe) <sub>7</sub> C <sub>3</sub> + мартенсит + аустенит с точечными карбидами

Тип производства функционально связан с массой детали и годовой программой выпуска:

$$m \cdot N = 73 \cdot 666 = 48468 \text{ кг} \cdot \text{шт},$$

где  $m=73$  кг – масса детали;

$N=666$  шт – годовая программа выпуска.

Ориентировочно определен тип производства – массовое.

Способ получения бронеплиты шаровой мельницы – литье по металлической модели с использованием стержня. Способ формовки – машинный. Прием формовки – в двух опоках с использованием металлического модельного комплекта. [8]

Все отливки, получаемые в массовом производстве с использованием машинной формовки, относятся к первому (I) классу точности. Так бронеплита не подвергается механической обработке, то припуски будут назначаться только на усадку металла.

### 3.2 Разработка эскиза модели и стержней

Модель – это прообраз будущей отливки. От отливки модель отличается материалом, наличием стержневых знаков. В качестве материала для изготовления модели используем металл.

Деталь не обрабатывается резанием, деталь имеет нужные уклоны, следовательно, эскиз модели будет выглядеть так:

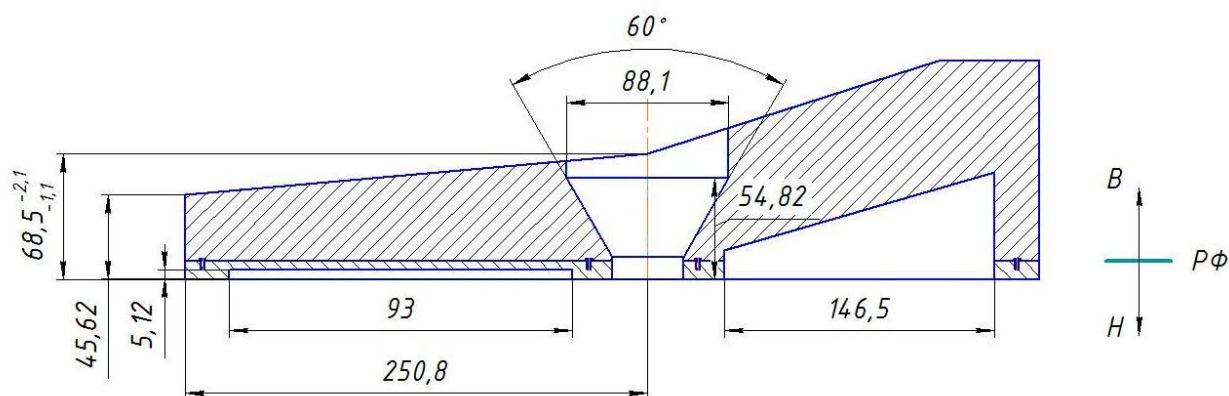


Рисунок 3.1 – Модель бронеплиты

Припуски и допуски на механическую обработку заготовки назначаются по ГОСТ 2789-73 и приведены в таблице 3.

Таблица 3.3 – Припуски на механическую обработку

Размер детали, мм	Припуск на мех. обработку, мм	Припуск на L, мм	Припуск на усадку, мм	Размер модели, мм
458	-	$4,6_{-2}^{-3}$	-	$463,6_{-2}^{-3}$
116	-	$3,8_{-1,5}^{-3}$	-	$119,8_{-1,5}^{-3}$
310	-	$3,8_{-2}^{-3}$	-	$313,8_{-2}^{-3}$
65	-	$3,5_{-1,1}^{-2,1}$	-	$68,5_{-1,1}^{-2,1}$
Ø40	-	-	0,4	38,6
Ø90	-	-	0,9	88,1



Так как отверстие в бронеплите сложной формы, то и стержень будет соответственно повторять его контуры. Эскиз стержня:

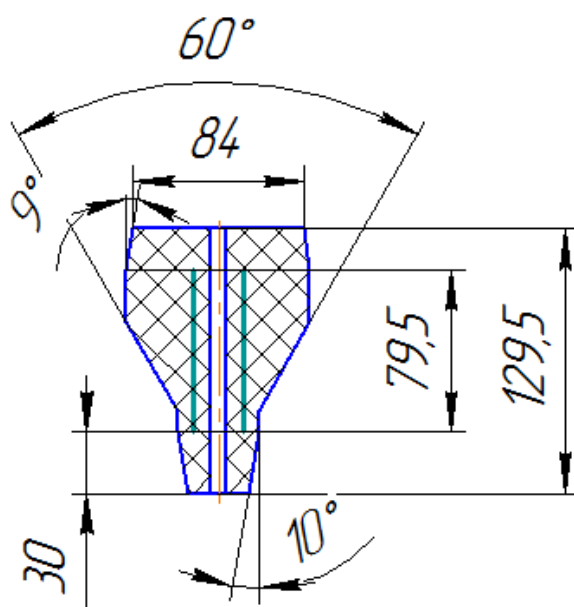


Рисунок 3.2 – Стержень

### 3.3 Литейная форма в сборе

Приняты опоки прямоугольного сечения по ГОСТ 14982-69, длиной в свету 1000 мм, шириной 800 мм и высотой 450 мм. Опоки после извлечения из них модели и установки стержней совмещаются по направляющим штырям. Во избежание подъема и смещения верхней опоки относительно нижней на верхнюю опоку устанавливаются грузы, опоки скрепляются болтами. Заливка формы производится из разливного ковша. После охлаждения форму разрушают, отливку очищают от пригоревшей формовочной смеси, отпиливают литник и разрушают стержни. После дополнительной очистки и необходимого контроля отливка поступает на механическую обработку. Чертеж литейной формы в сборе представлен на чертеже.

### 3.4 Расчет литниковой системы

Расчет литниковой системы сводится к определению площади поперечных сечений питателей ( $\sum F_{пит}$ ), шлакоуловителя ( $\sum F_{шл}$ ) и стояка ( $F_{ст}$ ). Суммарная площадь поперечных сечений питателей определяется по следующей зависимости:

$$\sum F_{пит} = \frac{Q}{\rho \mu \tau \sqrt{2gH}} = \frac{81}{7800 \cdot 0,5 \cdot 30 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,18}} = 0,000368 \text{ м}^2 = 368 \text{ мм}^2,$$

Следовательно, размеры сечений питателей  $h=6,15$  мм,  $b=20$  мм.

где  $Q=81$  кг – масса отливки и прибыли;

$\rho=7800$  кг/м<sup>3</sup> – плотность металла;

$\mu=0,5$  – коэффициент истечения;

$\tau = 30$  с – время заливки формы;

$g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;

$H = 0,18$  м – средний напор (высота от верхнего края воронки до центра масс отливки).

Площади поперечных сечений шлакоуловителя и стояка выбраны из соотношения для отливки из чугуна массой до 1 тонны:

$$\sum F_{пит} : \sum F_{шл} : F_{ст} = 1:1,3:1,6$$

Тогда площадь поперечного сечения шлакоуловителя  $\sum F_{шл} = 480$  мм<sup>2</sup>, а стояка  $F_{ст} = 590$  мм<sup>2</sup>.

### 3.5 Термическая обработка

#### Закалка

Чугун ИЧХ12Г3М подвергают закалке от 820-920° на воздухе.

Определение времени нагрева детали:

$$\tau_{нагр} = 5 \cdot H \cdot \sqrt{H} = 5 \cdot 116 \cdot \sqrt{116} = 6247 \text{ с} = 104 \text{ мин.}$$

Определение времени выдержки:

$$\tau_{выд} = 2 \cdot 5 \cdot H \cdot \sqrt{H} = 10 \cdot 116 \cdot \sqrt{116} = 208 \text{ мин.}$$

Графически процесс закалки будет проходить следующим образом:

### График протекания процесса закалки

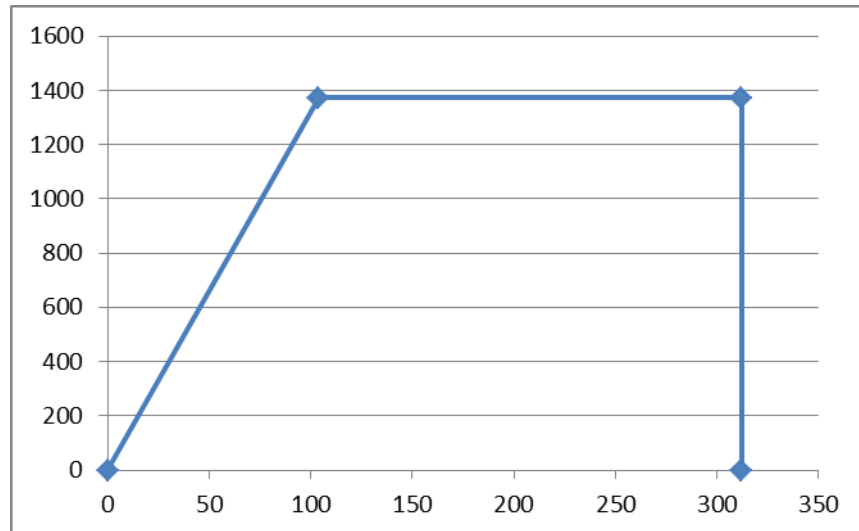


Рисунок 3.3 – График закалки

Для данного процесса деталь нагреваем в камерной печи широкого применения с металлическими нагревателями СНЗ-4,0.8,0.2,0/10. Размер рабочего пространства: ширина 400 мм, длина 800 мм, высота 200 мм. Рабочая температура 1000 °С.

#### Отпуск

Отпуск происходит при температуре 200°С с охлаждением на воздухе.

Время нагрева детали до необходимой температуры при среднем отпуске равно времени выдержки, которое определяем по формуле:

$$\tau_H = \tau_B = 20 + \delta = 20 + 105 = 125 \text{ мин},$$

Время охлаждения:

$$\tau_{\text{охл}} = \frac{t}{\nu} = \frac{200 \cdot 5,25}{1} = 17,5 \text{ мин.}$$

где  $t$  - температура нагрева, °С;  $\nu$  - скорость охлаждения на сантиметр толщины изделия,  $\nu = 1 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{сек} \cdot \text{см}}$ .

Графически процесс среднего отпуска будет проходить следующим образом:



Рисунок 3.4 - График протекания процесса отпуска

Для данного процесса деталь нагреваем в камерной печи широкого применения с металлическими нагревателями СНЗ-4,0.8,0.2,0/7. Размер рабочего пространства: ширина 400 мм, длина 800 мм, высота 200 мм. Рабочая температура 500 °С.

## 4 АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ МЕЛЬНИЦЫ

### 4.1 Расчет суммарной средней нагрузки

Для обогатительных фабрик и цементных заводов, являющихся высоко-механизированными и энергоемкими промышленными предприятиями, наличие надежной и экономичной системы электроснабжения является одной из гарантий успешного функционирования всего технологического процесса.

1. Питание цементного завода осуществляется от городской подстанции напряжением 110 кВ по двухцепной линии, выполненной проводами ААШВ-10 2(3х240) длиной 450 м. ЛЭП приходит на открытую главную понижительную подстанцию (ГПП), оборудованную двумя трансформаторами 110/35/6 кВ.

Установленные мощности приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Мощность оборудования

№	Цех, помещение	Количество	U кВ	P <sub>уст</sub> кВт
1	Компрессор	4	6	1500
2	Сырьевая мельница	6	6	1000
3	Компрессор	1	6	800
4	Компрессор	2	6	840
5	Угольная мельница	1	6	500
6	Угольная мельница	1	6	315
7	Угольная мельница	1	6	320
8	Угольная мельница	1	6	400
9	Компрессор	1	6	1250
10	Дымосос	8	6	500

11	Цементная мельница	7	6	1000
12	Гл. привод печи	4	6	320
13	НВ-2	1	6	250
14	НВ-1	1	6	250
15	НВВ-3	1	6	290
16	Внутреннее освещение		0,4	65
17	Наружное освещение		0,4	25

2. Напряжение питания приемников мощностью более 200 кВт 6 кВ, - прочих - 380 В, освещения -220 В. Осветительная нагрузка питается от ТП соответствующих цехов.

3. Подсчет суммарной средней нагрузки производится методом коэффициента спроса:

$$P_p = P_{уст} k_c n ; \quad Q_p = P_p tg \varphi ,$$

где  $k_c$  и  $tg \varphi$  - принимаются по справочным данным.

Результаты расчета представлены в табл. 4.2.

Таблица 4.2 - Расчетные суммарные нагрузки оборудования

№	Цех, помеще- ние	Количество	$P_{уст}$ кВт	Общая $P_{уст}$ кВт	$tg \varphi$	$K_c$	Расчетные	
							$P_p$ кВт	$Q_p$ квар
1	Дымосос	8	500	4000	0,75	0,8	3200	2400
2	Цементная мельница	7	1000	7000	0,5	0,95	6650	3325
3	Компрессор	4	1500	6000	0,75	0,8	4800	3600
4	Сырьевая мельница	6	1000	6000	0,5	0,95	5700	2850
5	Компрессор	1	800	800	0,75	0,8	640	480
6	Компрессор	2	840	1680	0,75	0,8	1344	1008
7	Угольная мель-	1	500	500	-0,5	0,92	460	230

	нища							
8	Угольная мельница	1	315	315	-0,5	0,92	290	145
9	Угольная мельница	1	320	320	-0,5	0,92	294	147
10	Угольная мельница	1	400	400	-0,5	0,92	368	184
11	Компрессор	1	1250	1250	0,75	0,8	1000	750
12	Гл. привод печи	4	320	1280	0,48	0,95	1216	584
13	НВ-2	1	250	250	1,33	0,8	200	266
14	НВ-1	1	250	250	1,33	0,8	200	266
15	НВВ-3	1	290	290	1,33	0,8	232	308
16	Внутреннее освещение		65	65	0,33	0,85	55	18
17	Наружное освещение		25	25	0	1,0	25	0

Расчетные мощности цеховых подстанций определяются по формуле:

$$S_p = \sqrt{\left(\sum_1^n P_p\right)^2 + \left(\sum_1^n Q_p\right)^2}.$$

Для дымососов:

$$S_p = \sqrt{3200^2 + 2400^2} = 4000 \text{ кВА.}$$

Для цементных мельниц:

$$S_p = \sqrt{6650^2 + 3325^2} = 7435 \text{ кВА.}$$

Для компрессоров:

$$S_p = \sqrt{4800^2 + 3600^2} = 6000 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{640^2 + 480^2} = 800 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{1344^2 + 1008^2} = 1680 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{1000^2 + 750^2} = 1250 \text{ кВА.}$$

Для сырьевых мельниц:

$$S_p = \sqrt{5700^2 + 2850^2} = 6373 \text{ кВА.}$$

Для угольных мельниц:

$$S_p = \sqrt{460^2 + 230^2} = 514 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{290^2 + 145^2} = 324 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{294^2 + 147^2} = 329 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{368^2 + 184^2} = 411 \text{ кВА.}$$

Для главного привода печей:

$$S_p = \sqrt{1216^2 + 584^2} = 1349 \text{ кВА.}$$

Для НВ-2, НВ-1 и НВВ (соответственно):

$$S_p = \sqrt{200^2 + 266^2} = 333 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{200^2 + 266^2} = 333 \text{ кВА.}$$

$$S_p = \sqrt{232^2 + 308^2} = 386 \text{ кВА.}$$

Общая расчетная мощность:

$$S_p = 4000 + 7435 + 6000 + 800 + 1680 + 1250 + 6373 + 514 + 324 + \\ + 329 + 411 + 1349 + 333 + 333 + 386 = 31517 \text{ кВА.}$$

### 3.6 Выбор трансформаторных подстанций

Трансформаторная подстанция выбирается из условия:

$$S_{\text{тн}} \geq \frac{S_p}{1.2},$$

где  $S_{\text{тн}}$  – номинальная полная мощность трансформатора.

$$S_{\text{тн}1,2} = \frac{31517}{1,2} = 26264 \text{ кВА.}$$



В связи с открытием нового цеха сухих строительных смесей примем номинальную мощность трансформаторной подстанции на 20% больше полученной.

Принимаем комплексную трансформаторную подстанцию блочную (КТПБ) с двумя трансформаторами типа ТДТН-40000/110-У1 (номинальная мощность 40 МВА, класс напряжения 110 кВ, для умеренного климата, для наружной установки).

Номинальные мощности трансформаторов соответственно:

$$S_{\text{нI}} = 40 \text{ МВА} \text{ и } S_{\text{нII}} = 40 \text{ МВА}.$$

Номинальный вторичный ток:

$$I_{2H} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{2H}};$$
$$I_{2H} = \frac{40000}{\sqrt{3} \cdot 6} = 3850 \text{ А}.$$

Напряжение короткого замыкания:

$$U_K = \frac{u_K}{100} \cdot U_{2H};$$
$$U_K = \frac{17,5\%}{100} \cdot 6000 = 1050 \text{ В}.$$

### 3.7 Определение расчётных токов

Расчетные токи для цементной мельницы №5:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta_n};$$
$$I_p = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,66 \cdot 0,9 \cdot 0,94} = 1034 \text{ А}.$$

### 3.8 Выбор силовых кабелей напряжением до 1000 кВ

По допустимому нагреву выбор кабелей производится из условия

$$I_{\text{доп}} \geq I_p.$$

Выбираем кабель типа ААШВ-6 (силовой с пропитанной бумажной изоляцией) с сечением жил (3x120) и длиной 60 м.

Активное сопротивление кабеля:

$$R_k = R_0 \cdot L_k,$$

где  $R_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L_k$  – длина кабеля, км.

$$R_k = 0,154 \cdot 0,06 = 0,009 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление кабеля:

$$X_k = X_0 \cdot L_k,$$

где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L_k$  – длина кабеля, км.

$$X_k = 0,076 \cdot 0,06 = 0,0045 \text{ Ом.}$$

### 3.9 Выбор магистральных кабелей низкого напряжения

$$I_{\text{МК}} = \frac{S_p}{U_{2н} \cdot \sqrt{3}} = \frac{31517}{6 \cdot \sqrt{3}} = 3032 \text{ А.}$$

Принимаем два магистральных кабеля, ток каждого из них 1516 А. Выбираем кабель типа ААШВ-10 с сечением жил 2(3x2400) и длиной 450 м.

Активное сопротивление кабеля:

$$R_k = R_0 \cdot L_k,$$

где  $R_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L_k$  – длина кабеля, км.

$$R_k = 0,099 \cdot 0,45 = 0,04455 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление кабеля:

$$X_k = X_0 \cdot L_k,$$

где  $X_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

$L_k$  – длина кабеля, км.

$$X_k = 0,076 \cdot 0,45 = 0,0342 \text{ Ом.}$$

### 3.10 Расчёт токов короткого замыкания

1. Определение параметров схемы замещения в физических единицах, приведенных к базисной ступени.

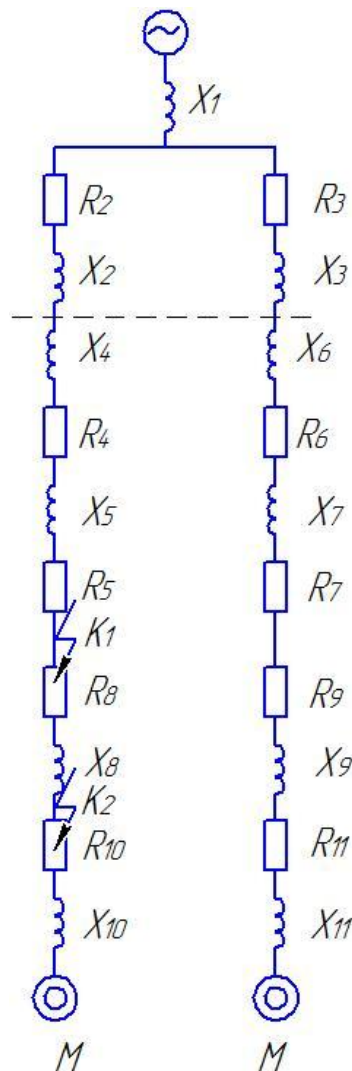


Рисунок 4.1 - Схема замещения

Сопротивление энергосистемы:

$$X_1 = \frac{U_6}{\sqrt{3}I_c^{(3)}} = \frac{115}{\sqrt{3} \cdot 16} = 4,15 \text{ Ом.}$$

Сопротивление воздушных линий ВЛ1, ВЛ2:

$$X_2 = X_3 = I_1 X_{01} \left( \frac{U_6}{U_{cp}} \right)^2 = 10 \cdot 0,4 \cdot \left( \frac{115}{115} \right)^2 = 4 \text{ Ом};$$

$$R_2 = R_3 = I_1 R_{01} \left( \frac{U_6}{U_{cp}} \right)^2 = 10 \cdot 0,46 \cdot \left( \frac{115}{115} \right)^2 = 4,6 \text{ Ом}.$$

Средние напряжения принимаются из ряда:

U <sub>н</sub> кВ	6	35	110
U <sub>ср</sub> кВ	6.3	37	115

Сопротивления короткого замыкания трехфазных трех обмоточных трансформаторов Т1, Т2 определим по формулам:

$$X_{4*B} = X_{7*B} = \frac{(u_{r(B-C)} + u_{r(B-H)} - u_{r(C-H)}) U_B^2}{200 \cdot S_H} = \frac{(0,5 + 10,5 - 6) 110^2}{200 \cdot 40} = 22,7 \text{ Ом};$$

$$X_{5*B} = X_{8*B} = \frac{(u_{r(C-H)} + u_{r(B-C)} - u_{r(B-H)}) U_B^2}{200 \cdot S_H} = \frac{(6 + 10,5 - 10,5) 110^2}{200 \cdot 40} = 9,08 \text{ Ом};$$

$$X_{6*B} = X_{9*B} = \frac{(u_{r(C-H)} + u_{r(B-H)} - u_{r(B-C)}) U_B^2}{200 \cdot S_H} = \frac{(6 + 10,5 - 10,5) 110^2}{200 \cdot 40} = 9,08 \text{ Ом}.$$

Активные сопротивления элементов схемы этих же трансформаторов вычисляются с помощью параметра  $\alpha$ , значения которого определяют по графикам рис. 19.

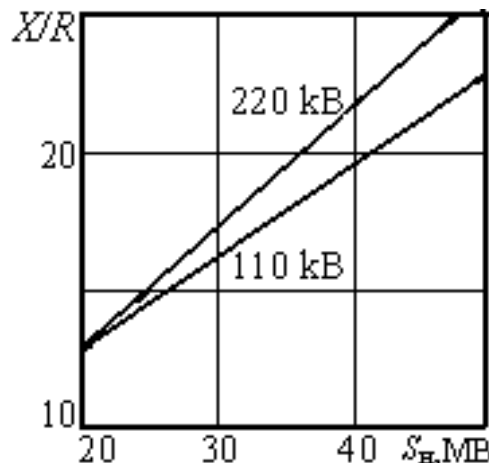


Рис. 19. Диаграмма для определения параметра  $\alpha$ .

В нашем случае при  $S_H = 40$  МВА и  $U_H = 110$  кВ параметр  $\alpha = X/R = 19$ .

Тогда активные сопротивления схемы замещения

$$R_B = R_4 = R_7 = X_B / \alpha = 22,7 / 19 = 1,2 \text{ Ом}.$$

Аналогично:

$$R_C = R_5 = R_8 = X_C / \alpha = 0,5 \text{ Ом};$$

$$R_H = R_6 = R_9 = X_H / \alpha = 0,5 \text{ Ом}.$$

## 2. Расчет тока КЗ в точке К1.

При расчете токов КЗ ЭДС всех источников питания принимают совпадающими по фазе, поэтому используется метод наложения: ток от каждого источника питания в месте КЗ рассчитывается отдельно, а затем результаты суммируются.

Действующее значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ в физических единицах при питании от энергосистемы:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{U_6}{\sqrt{3}Z_\Sigma},$$

где полное сопротивление  $Z_\Sigma = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}$  приведено к базовой ступени напряжения. В свою очередь суммарные активное и реактивное сопротивления до точки КЗ:

$$R_\Sigma = \sum_{i=1}^n R_i; \quad X_\Sigma = \sum_{i=1}^m X_i.$$

В нашем примере суммарные активное и реактивное сопротивления до точки К1:

$$X_\Sigma = X_1 + X_2 + X_3 + X_7 + X_8 = 93,87 \text{ Ом};$$

$$R_\Sigma = R_2 + R_3 + R_7 + R_8 = 10,9 \text{ Ом}.$$

Поскольку  $\frac{X_\Sigma}{R_\Sigma} > 3$ , ток КЗ в К1, приведенный к базисному напряжению,

определяется без учета активного сопротивления:

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{U_6 U_6}{\sqrt{3} X_\Sigma U_{cp}} = \frac{115 \cdot 115}{\sqrt{3} \cdot 93,87 \cdot 6,3} = 13 \text{ кА}.$$

Постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ, обусловленного системой и сетью,

$$T_{alc} = \frac{X_\Sigma}{\omega R_\Sigma} = \frac{93,87}{314 \cdot 10,9} = 0,0274 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент

$$k_{y1} = 1 + e^{-0.01/T_{aic}} = 1 + e^{-0.01/0.0274} = 1,736.$$

Ударный ток КЗ

$$i_{y1} = \sqrt{2}k_y \cdot I_{k1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,736 \cdot 13 = 32 \text{ кА}.$$

3. Расчет тока КЗ в точке К2.

Поскольку в непосредственной близости от точки К2 включен мощный двигатель М, расчет тока КЗ в данной точке ведется методом наложения:

$$I_{k2}^{(3)} = I_{k2c}^{(3)} + I_{k2M}^{(3)},$$

где  $I_{k2c}^{(3)}$ ,  $I_{k2M}^{(3)}$  – токи КЗ, обусловленные соответственно источниками системы и подпиткой от двигателя М.

Для точки К2 расчет выполняют по аналогии с расчетом тока КЗ для точки К1:

$$I_{k2c}^{(3)} = \frac{U_6 U_6}{\sqrt{3} X_{\Sigma} U_{cp}} = 5,2 \text{ кА}.$$

Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ, обусловленного системой и сетью,

$$T_{a2c} = \frac{X_{\Sigma*6}}{\omega R_{\Sigma*6}} = \frac{0,0342}{314 \cdot 0,04455} = 0,024 \text{ с}.$$

Ударный коэффициент:

$$k_{y2c} = 1 + e^{-0.01/T_{a2c}} = 1 + e^{-0.01/0,024} = 1,721.$$

Ударный ток КЗ, обусловленный системой и сетью:

$$i_{y2c} = \sqrt{2}k_{y2c} \cdot I_{k2c}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,721 \cdot 5,2 = 12,6 \text{ кА}.$$

Для определения тока подпитки двигателем М точки короткого замыкания К2 находим:

- ударный коэффициент:

$$k_{y2M} = 1 + e^{-0.01/T_{aM}} = 1 + e^{-0.01/0,052} = 1,825;$$

- ЭДС сверхпереходная:

$$E'' = 1,1 \cdot U_{cp} = 1,1 \cdot 6,3 = 6,93 \text{ кВ};$$

- сверхпереходное индуктивное сопротивление двигателя в относительных единицах:

$$X_{d*}'' = 1/k_{nl} = 1/5,8 = 0,172 \text{ о.е.};$$

- индуктивное сопротивление в физических единицах:

$$Z_{\Sigma M} \approx X_{\Sigma M} = X_{d*}'' \frac{U_{cp}^2}{S_{HM}} = 0,172 \frac{6,3^2}{2,34} = 2,65 \text{ Ом};$$

- периодическая составляющая тока КЗ, обусловленного энергией двигателя М,

$$I_{k2M}^{(3)} = \frac{E''}{\sqrt{3}X_{\Sigma M}} = \frac{6,93}{\sqrt{3} \cdot 2,65} = 1,51 \text{ кА};$$

- составляющая ударного тока КЗ, обусловленного энергией двигателя М,

$$i_{y2M} = \sqrt{2}k_{y2M}I_{k2M}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,225 \cdot 1,51 = 3,89 \text{ кА}.$$

Результирующий ток КЗ в точке К2:

- периодическая составляющая:

$$I_{k2}^{(3)} = I_{k2c}^{(3)} + I_{k2M}^{(3)} = 5,2 + 1,51 = 6,71 \text{ кА},$$

- ударный ток

$$i_{y2} = i_{y2c} + i_{y2M} = 12,6 + 3,89 = 16,49 \text{ кА}.$$

### 3.11 Выбор и проверка электрических аппаратов

При выполнении дипломного проекта для составления схемы электропитания цементного завода производим выбор электрических аппаратов, устанавливаемых на подстанции системы, на вводе ГПП, в цепи вторичной обмотки силовых трансформаторов и на отходящих к отдельным цехам (установкам) линиях электропередачи.

Выключатели, разъединители и отделители выбирают по типу, форме исполнения (для наружной или внутренней установки), по номинальному напряжению  $U_{н.а.}$  и номинальному току  $I_{н.а.}$

Выключатели проверяют по допустимому ударному току  $i_y$ , току термической стойкости и току отключения. Условия проверки:

- по ударному току

$$i_{н.у} \geq i_y,$$

где  $i_{н.у}$  – номинальный (допустимый) ударный ток аппарата, кА;

- по току отключения

$$I_{н.о} \geq I_{р.о},$$

где  $I_{н.о}$  и  $I_{р.о}$  – номинальный и расчетный ток отключения аппарата, кА,

$$I_{р.о} = \sqrt{2} \cdot I_{к}^{(3)} \cdot (1 + e^{-t_{откл}/T_a}).$$

- по термической стойкости

$$I_{н.т.с} \geq I_m,$$

где  $I_{н.т.с}$  – номинальный (допустимый) ток термической стойкости за нормированное время  $t_{н.т.с}$ , с,

$$I_T = I_{к}^{(3)} \cdot \sqrt{\frac{t_n}{t_{н.т.с}}}.$$

Разъединители, отделители и короткозамыкатели проверяют по ударному току и току термической стойкости по тем же формулам, что и выключатели.

В соответствии с произведенными расчетами выбираем следующие типы электрических аппаратов:

Разъединитель секционный ВВ/TEL-10.

Выключатели масляные: ВМПЭ-10, ВМГ-133.



## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

5.1. Конструктивно-технологическая характеристика технического объекта с точки зрения его безопасностных и экологических характеристик.

Таблица 5.1 - Технологический паспорт объекта

№ п / п	Технологический процесс <sup>1</sup>	Технологическая операция, вид выполняемых работ <sup>2</sup>	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию <sup>3</sup>	Оборудование, устройство, приспособление <sup>4</sup>	Материалы, вещества <sup>5</sup>
1	Помол клинкера и добавок	Загрузка с материального склада клинкера и гипса в расходные бункера	Машинист крана (крановщик) (код по ОКС 8333)	Мостовой грейферный кран	Клинкер, гипс
2	Помол клинкера и добавок	Очистка воздушной среды от вредных примесей	Аспираторщик (код по ОКС 8212)	Системы пылеулавливания	-
3	Помол клинкера и добавок	Включение/выключение предпусковой сигнализации и кнопки «пуск» главного привода	Моторист-смазчик (код по ОКС 8212)	Мельница цементная с приводом и системой смазки	-
4	Помол клинкера и добавок	Включение питателей клинкера, гипса, золы и регулировка питания мельницы за-	Машинист мельниц (код по ОКС 8159)	Мельница цементная с приводом и системой смазки	Клинкер, гипс, зола, добавки

	гружаемым мате- риалом.			
--	----------------------------	--	--	--

## 5.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Таблица 5.2 – Идентификация профессиональных рисков.

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ <sup>(1)</sup>	Опасный и /или вредный производственный фактор <sup>2</sup>	Источник опасного и / или вредного производственного фактора <sup>3</sup>
1	Загрузка с материального склада клинкера и гипса в расходные бункера	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>2. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>4. Повышенный уровень вибрации;</li> <li>5. Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>6. Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материал рабочей среды</li> <li>2. Узлы и агрегаты производственного оборудования</li> <li>3. Конструкция эксплуатируемого крана</li> </ol>
2	Очистка воздушной среды от вредных примесей	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материал рабочей среды</li> <li>2. Узлы и агрегаты</li> </ol>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте.</li> </ol>	<p>ты производственного оборудования</p>
3	<p>Включение/выключение предупредительной сигнализации и кнопки «пуск» главного привода</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>2. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>5. Повышенный уровень статического электричества.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материал рабочей среды</li> <li>2. Узлы и агрегаты производственного оборудования</li> </ol>
4	<p>Включение питателей клинкера, гипса, золы и регулировка питания мельницы загружаемым материалом.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>2. Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>3. Повышенный уровень шума на рабочем месте;</li> <li>4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Материал рабочей среды</li> <li>2. Узлы и агрегаты производственного оборудования</li> </ol>

		5. Повышенный уровень статического электричества.	
--	--	---------------------------------------------------	--

### 5.3 Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Таблица 5.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов (уже реализованных и дополнительно или альтернативно предлагаемых для реализации в рамках дипломного проекта).

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор <sup>1</sup>	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора <sup>2</sup>	Средства индивидуальной защиты работника <sup>3</sup>
1	Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	Применение рукавных или электрофильтров для очистки воздуха. При значительной концентрации пыли в аспирируемом воздухе применение циклонов. Для очистки воздуха, отсасываемого из камер сырьевых мельниц, применить циклон и электрофильтр, соединенные последовательно.	Фильтрующие СИЗ органов дыхания с противоаэрозольными и противогазовыми фильтрами. Изолирующие СИЗ органов дыхания.
2	Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны	Рабочие места в горячем цеху оборудовать аэрационными душевыми установками с холодным воздухом и специальными термозащитными экранами. Ремонт обжиговых печей не производить до тех пор, пока они как следует, не остынут, ремонтные работы пору-	-

		<p>чать только молодым и здоровым рабочим. Чтобы исключить тепловой удар, эти рабочие должны находиться под медицинским наблюдением с целью проверки их сердечно - сосудистой, дыхательной и потовыделительной функций. Люди, работающие в условиях жаркого климата, должны иметь в своем распоряжении подсоленные напитки и, в случае необходимости, употребить их.</p>	
3	<p>Повышенный уровень шума на рабочем месте</p>	<p>Применение ограждающих конструкций зданий с требуемой звукоизоляцией. Применение звукопоглощающих конструкций (звукопоглощающих облицовок, кулис, штучных поглотителей).</p> <p>Применение звукоизолирующих кабин наблюдения и дистанционного управления.</p> <p>Применение звукоизолирующих кожухов на шумных агрегатах.</p> <p>Применение акустических экранов. Применение глушителей шума в системах вентиляции, кондиционирования воздуха и в аэродинамических установках. Виброизоляция технологического</p>	<p>Шумозащитные наушники, шлемы, заглушки.</p>

		<p>оборудования</p> <p>Применение демпфирующих прокладок между внутренней стенкой мельничных барабанов и бронифутеровочными плитами, замену в сырьевых шаровых мельницах стальных плит резиновыми. Укрытие мельниц и дробилок шумоизолирующими кожухами, облицовка источников шума звукопоглощающими материалами.</p>	
4	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Заземление электродвигателей и электрической аппаратуры, энергетических машин.	Диэлектрические галоши и перчатки
5	Повышенный уровень статического электричества	Использование наиболее современных средств вентиляции, применение специальных зон заземления	-
6	Повышенный уровень вибрации	<p>Снижение виброактивности машин. Отстройка от резонансных частот. Виброизоляция, виброгашение.</p> <p>Снижение виброактивности привода путем изменения технологического процесса. Применение редукторов с такими кинема-</p>	Виброзащитные рукавицы или перчатки

		<p>тическими схемами, при которых динамические процессы, вызываемые ударами, ускорениями исключены или предельно снижены.</p> <p>Отстройка от резонансных частот путем в изменения режимов работы машины и частоты возмущающей вибросилы; собственной частоты колебаний машины путем изменения жесткости системы. Установка ребержесткости.</p> <p>Виброгашение (увеличение массы системы) за счет установки агрегатов на массивный фундамент.</p> <p>Виброизоляция через уменьшение передачи колебаний от источника к защищаемому объекту при помощи устройств, помещаемых между ними. Для виброизоляции применить виброизолирующие опоры типа упругих прокладок, пружин или их сочетания.</p>	
7	Недостаточная освещенность рабочей зоны	В отделении применить совмещенное освещение. Обеспечить комбинированное естественное освещение через световые	-

проемы в наружных стенах и верхнее освещение через световые проемы в покрытии и фонари. Искусственное освещение, необходимое для проведения работ в темное время суток или в местах без достаточного естественного освещения, осуществлять при помощи газоразрядных ламп и люминесцентных ламп. Выбор источника освещения определять от характера работы, условий среды, размеров помещения и др. Газоразрядные лампы применять непосредственно на производственной площадке отделения кальцинации, а также для местного освещения. Люминесцентные лампы применять при необходимости для создания оптимальных условий для зрительной работы (в щитовых помещениях, где имеется пульт управления), которая характеризуется как "точная" (III разряд).

В случае отключения рабочего освещения предусмотреть аварийное освещение, составляющее 10% от рабочего (не менее 50 лк).



8	Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола)	Применение лифтовых конструкций для подъема/спуска персонала к месту работы для исключения травматизма. Подсветка лестниц.	Предупреждающие таблички
---	------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

5.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

Таблица 5.4 – Идентификация классов и опасных факторов пожара.

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	Склад сухой золы	Расходный бункер золы	Е	пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах)	образующиеся в процессе пожара осколки энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопрово-

					дящие части технологических установок, оборудования.
2	Объединенный материальный склад (гипс, клинкер)	Бункеры гипса и клинкера, питатели	Е	пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах)	образующиеся в процессе пожара осколки энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования.
3	Участок помола	Цементная мельница, приемный бункер	Е	пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах), повышенная	образующиеся в процессе пожара осколки энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-

				концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	технического оборудования, вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования.
4	Система фильтрации производственного воздуха	Электрофильтр, циклоны, дымосос	Е	пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, снижение видимости в дыму (задымленных пространственных зонах)	образующиеся в процессе пожара осколки энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на токопроводящие части технологических установок, оборудования.

Таблица 5.5 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

сти.

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Переносные огнетушители серий ОУ и ОП, пожарный инвентарь,	Пожарные автомобили, мотопомпы.	Модульная автоматизированная установка пожаротушения. Вид огнетушащего вещества – порошок. Способ тушения – локально-объемный.	Пожарные извещатели	Щит пожарный, гидрант пожарный «ГП-1,75»	Респираторы, фильтрующие противогазы ГП-5, ГП-5м, ГП-4у	Пожарные топоры, лопаты. Комплект универсального инструмента УКИ-12М	Автоматическая установка пожарной сигнализации (АУПС) лучевого типа

Таблица 5.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.

Наименование технологического процесса, оборудования технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
---------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Помол клинкера и добавок	Проведение плановых общих инструктажей по пожарной безопасности	Знание правил поведения при начале и распространении пожара.
	Проектирование вновь вводимых цехов, а также доработка документации действующих, согласно ФЗ-123, раздела 4	Документация на производственные объекты, в том числе на здания, сооружения, строения, и технологические процессы должна содержать пожарно-технические характеристики. Состав и функциональные характеристики систем обеспечения пожарной безопасности производственных объектов должны быть оформлены в виде самостоятельного раздела проектной документации.
Помол клинкера и добавок	Проведение анализа пожарной опасности и расчета пожарного риска	Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях, строениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год
Помол клинкера и добавок	Организация подъезда пожарной техники	Расстояние от края проезжей части или спланированной поверхности, обеспечивающей проезд пожарных автомобилей, до стен зданий высотой не более 12 метров должно быть не более 25 метров, при высоте зданий более 12, но не более 28 метров - не более 8 метров, а при высоте зданий более 28 метров - не более 10 метров
Помол клинкера и добавок	Проведение плановых испытаний пожарной техники	Пожарная техника должна подвергаться испытаниям на соответствие ее параметров требованиям пожарной безопасности в соот-

	предприятия, согласно ФЗ-123, раздела 5.	ветствии с методами, установленными нормативными документами по пожарной безопасности
Помол клинкера и добавок	Размещение и установка, и ввод в эксплуатацию стационарных систем пожаротушения	Автоматические установки пожаротушения должны обеспечивать ликвидацию пожара поверхностным или объемным способом подачи огнетушащего вещества в целях создания условий, препятствующих возникновению и развитию процесса горения.
Помол клинкера и добавок	Размещение первичных средств пожаротушения по всему периметру производственных участков	Переносные и передвижные огнетушители должны обеспечивать тушение пожара одним человеком на площади, указанной в технической документации организации-изготовителя

Таблица 5.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса (производственного здания или сооружения по функциональному назначению, технологические операции, оборудование), энергетическая установка транспортное средство и т.п.	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительно-

				го покрова и т.д.)
Помол клинкера и добавок	Цех помола	Выбросы пыли в атмосферу	Постоянный забор воды для обеспечения необходимой влажности шлама	В непосредственной близости предприятия оседание производственной пыли – загрязнение растительного покрова

Таблица 5.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду.

Наименование технического объекта	Цех помола клинкера и добавок при получении цемента
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	Применение дополнительных систем фильтрации на участках между цементной мельницей и аспирационной шахтой, а также дополнительных циклонов, рукавных фильтров и электрофильтров на участке очистки производственного воздуха.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	Применение систем очистки и рекуперации используемой для увлажнения шлама воды. Создание для этих целей систем отстойников воды.
Мероприятия по снижению нега-	Постоянная дополнительная очистка прилегающей к заводу территории от осадков цементной пыли.

тивного антропо- генного воздей- ствия на лито- сферу	
----------------------------------------------------------------	--

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса измельчения пород, перечислены технологические операции, должности работников, производственно-техническое и инженерно-техническое оборудование, применяемые сырьевые технологические и расходные материалы, комплектующие изделия и производимые изделия (таблица 5.1).

2. Проведена идентификация профессиональных рисков по осуществляемому технологическому процессу помола клинкера и добавок при получении цемента, выполняемым технологическим операциям, видам производимых работ. В качестве опасных и вредных производственных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» идентифицированы следующие:

- ✓ Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;
- ✓ Повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;
- ✓ Повышенный уровень шума на рабочем месте;
- ✓ Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- ✓ Повышенный уровень статического электричества;
- ✓ Повышенный уровень вибрации;
- ✓ Недостаточная освещенность рабочей зоны;
- ✓ Расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола).

3. Разработаны организационно-технические мероприятия, включающие технические устройства снижения профессиональных рисков. Подобраны средства индивидуальной защиты для работников (таблица 5.3).

4. Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности



технического объекта. Проведена идентификация класса пожара и опасных факторов пожара и разработка средств, методов и мер обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.4). Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности (таблица 5.5). Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности на техническом объекте (таблица 5.6).

5. Идентифицированы экологические факторы (таблица 5.7) и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте (таблица 5.8).

Таким образом, модернизация и замена футеровки трубной цементной мельницы никаким образом не повлияет на условия труда работающих на заводе.

## 6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЕКТА

### 6.1 Капитальные затраты

Капитальные затраты на оборудования, в частности шаровой мельницы, складываются из нескольких, расчет которых представлен ниже.

Стоимость запасных частей:

$$C_{з.ч} = 0,20 \cdot Ц = 0,20 \cdot 7979760 = 1595952 \text{ руб.} \quad (6.1)$$

Стоимость тары в упаковке:

$$C_{т.у} = 0,005 \cdot (Ц + C_{з.ч}) = 0,005 \cdot (7979760 + 1595952) = 40699 \text{ руб.} \quad (6.2)$$

Заготовительно-складские расходы:

$$C_{з.СКЛ} = 0,015 \cdot (Ц + C_{з.ч} + C_{т.у}) = 0,015 \cdot (7979760 + 1595952 + 40699) = 144246 \text{ руб.} \quad (6.3)$$

Транспортные расходы на поставку и монтаж:

$$C_{т.м} = 0,12 \cdot Ц = 0,12 \cdot 7979760 = 957571 \text{ руб.} \quad (6.4)$$

Балансовая стоимость:

$$C_{БАЛ} = [7979760 + 1595952] \cdot 1,005 \cdot [1,015] \cdot 1,12 = 10940098 \text{ руб.} \quad (6.5)$$

#### 6.1.1 Определение затрат на заработную плату персоналу осуществляющему монтаж и демонтаж футеровки шаровой мельницы

При расчете заработной платы следует учитывать различные виды доплат: премиальные, отпускные, северные, помесяй коэффициент, ночные, сверхурочные, бригадирские, вознаграждения за выслугу лет и т.д.

Затраты на заработную плату производственных рабочих, занятых ремонтом машины [4]:

$$C_z = C_{осн} + C_{доп} + C_{отч}, \quad (6.6)$$

где  $C_{осн}$  - основная заработная плата,

$$C_{осн} = C_{пр} + D_1 + D_2, \text{ руб.}, \quad (7.7)$$

где  $C_{доп}$  - дополнительная заработная плата, руб.;  $C_{пр}$  - прямая заработная плата;  $D_1, D_2$  - доплаты к прямой заработной плате.

Предлагаемый способ изменения футеровки шаровых мельниц позволяет увеличить их срок службы и соответственно уменьшить количество ремонтов, связанных с заменой комплектов футеровок.

Для сравнения затрат на заработную плату персонала по монтажу используемой в данный момент футеровки шаровой мельницы МШР 2,6x13 и предлагаемой мной. Расчетный период составляет 10 лет.

Заработная плата (в час) персонала осуществляющего монтаж и демонтаж футеровки представлена в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Заработная плата персонала

Показатель	Расчетное значение, руб
Прямая зарплата $C_{пр}$ (в час)	69
Доплаты к прямой зарплате $D_1$	41
В том числе:	
премии $D_1'$ (45% от $C_{пр}$ )	31
прочие доплаты $D_1''$ (10% от $C_{пр} + D_1'$ )	10
Доплаты к зарплате $D_2$	120
В том числе:	
Доплаты по районному коэффициенту $D_2'$ (40% от $C_{пр} + D_1'$ )	40
процентная надбавка уплачиваемая к заработной плате в районах Крайнего Севера $D_2''$ (80% от $C_{пр} + D_1'$ )	80
Итого основная заработная плата $C_{осн} = C_{пр} + D_1 + D_2$	230
Дополнительная заработная плата $C_{доп}$	18

(8% от $C_{осн}$ )	
Страхование взносов $C_{СВ}$ (34% от $C_{осн}$ )	78
Итого заработная плата $C_3$	326

В табл. 6.2 представлена заработная работников при выполнении ими работ по замене футеровки.

Таблица 6.2 – Стоимость работ по футеровке

Виды работ	Время выполнения ремонтной операции, ч	Кол-во рабочих занятых на выполнении соответствующей ремонтной операции	Заработная плата за выполненную ремонтную операцию, руб.
Демонтаж изношенной футеровки	10	4	12520
Монтаж комплекта новой футеровки	20	4	25040
Проверка крепления футеровки (путем холостого пуска шаровой мельницы с одновременной подачей воды)	1	2	626
Подтяжка ослабленных болтов	9	4	11268
Итого			49454

Из таблицы 6.2 видно, стоимость ремонтных операций по замене футеровки составляет  $C_{PO} = 49454$  руб.

Футеровка, стоящая в данный момент служит  $S = 412$  дней и за  $L=10$  лет = 3650 дней затраты на заработную плату составят

$$C_{исх} = \frac{L}{S} \cdot C_{PO} = \frac{3650}{412} \cdot 49454 = 438124 \text{ руб.} \quad (6.8)$$

При замене футеровка служит  $S = 1041$  день и за  $L=10$  лет = 3650 дней затраты на заработную плату составят

$$C_{упр} = \frac{L}{S} \cdot C_{PO} = \frac{3650}{1057} \cdot 49454 = 170773 \text{ руб.} \quad (6.9)$$

С учетом того, что шаровых мельниц МШР 2600x13000 на заводе  $N = 7$  штук, рассчитаем общие затраты на заработную плату

$$C_{\text{общ,исх}} = N \cdot C_{\text{исх}} = 7 \cdot 438124 = 3066868 \text{ руб};$$

$$C_{\text{общ,упр}} = N \cdot C_{\text{упр}} = 7 \cdot 170773 = 1195411 \text{ руб}.$$

Соответственно экономия  $\mathcal{E}_{\text{ЗП}}$  от сокращения затрат на заработную плату за 10 лет составит

$$\mathcal{E}_{\text{ЗП}} = C_{\text{исх}} - C_{\text{упр}} = 3066868 - 1195411 = 1871457 \text{ руб}. \quad (6.10)$$

## 7.2 Расчет себестоимости по амортизации

Амортизационные отчисления (за 10 лет) при текущем режиме эксплуатации футеровки, с учетом наличия 8 комплектов футеровки и сроке эксплуатации каждого комплекта 412 дней:

$$C_{a1} = \frac{KH_a}{100} K_{II} L = \frac{64248975 \cdot 10}{100} \cdot 1,11 \cdot 10 = 71316162 \text{ руб}, \quad (6.11)$$

где  $H_a$  - норма амортизации на полное восстановление,

$H_a = \frac{1}{n} \cdot 100 \% = \frac{1}{10} \cdot 100 \% = 10 \%$ ,  $n$  – срок полезного использования мельницы, выраженный в годах,  $n = 10$  лет;  $K$  – капитальные затраты на приобретение комплекта из 8 футеровок,  $K_1 = 64248975$  руб.

Амортизационные отчисления (за 10 лет) при применении режима периодических упрочнений футеровки в процессе эксплуатации, с учетом наличия 4 комплектов и срока службы каждого комплекта 1057 дней

$$C_{a2} = \frac{KH_a}{100} K_{II} L = \frac{47752400 \cdot 10}{100} \cdot 1,11 \cdot 10 = 53005164 \text{ руб}, \quad (6.12)$$

где  $H_a = \frac{1}{n} \cdot 100 \% = \frac{1}{10} \cdot 100 \% = 10 \%$ ,  $n = 10$  лет;  $K$  – капитальные затраты на приобретения 4 комплектов футеровки,  $K_2 = 47752400$  руб.,  $K_{II}$  – коэффициент учитывающий инфляцию за 10 лет,  $K_{II} = 1,11$ ;  $L$  – амортизационный период,  $L = 10$  лет.

С учетом того, что шаровых мельниц МШР 2600×13000 на заводе N = 7 штук, общие амортизационные отчисления при текущем режиме эксплуатации и при изменении профиля футеровки составит:

$$C_{\text{ОБЩ},a1} = N \cdot C_{a1} = 7 \cdot 71316162 = 499213134 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{ОБЩ},a2} = N \cdot C_{a2} = 7 \cdot 53005164 = 371036148 \text{ руб.}$$

Соответственно экономия амортизационных средств (за 10 лет) составит

$$\mathcal{E}_{AC} = C_{a1} - C_{a2} = 499213134 - 371036148 = 128176986 \text{ руб.} \quad (6.13)$$

С учетом сокращения затрат на заработную плату экономический эффект составит

$$\mathcal{E}_{\text{ОБЩ}} = (\mathcal{E}_{AC} + \mathcal{E}_{ЗП}) \cdot H_{\Pi} = (128176986 + 1871457) \cdot 0,8 = 104038754 \text{ руб} \quad (6.14)$$

Срок окупаемости

$$T = \frac{K_m}{\mathcal{E}_{\text{ОБЩ}} \cdot H_{\Pi}} = \frac{371036148}{104038754} = 3,57 \text{ года} \quad (6.15)$$

где  $C_9$  – стоимость электроэнергии необходимой для мельницы с новой футеровкой,  $C_9 = 24300000$  руб.,  $H_{\Pi}$  – налог на прибыль,  $H_{\Pi} = 0,2$ .

Таблица технико-экономических показателей представлена на ДП.071375.015.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения представленного дипломного проекта, получены следующие результаты:

1. На примере мельницы шаровой МШР 2,6x13 показано, что при работе мельницы с измененным материалом бронеплит, ее стойкость к износу увеличится на 25%.

2. Новый профиль футеровки предполагает исключение «мертвых» зон по ходу движения материала в мельнице, что позволяет достичь однородности пульпы на выходе.

3. Изменение профиля футеровки позволяет увеличить тонкость помола. Тонкость помола цемента должна быть такой, чтобы при просеивании пробы цемента сквозь сито с сеткой N 008 по ГОСТ 10178-85 проходило не менее 95% массы просеиваемой пробы. Такой цемент характеризуется пониженной сопротивляемостью коррозии.

4. Более тонкий помол позволяет установить трубную мельницу МШР 2,6x13 на замкнутый цикл помола клинкера и добавок и получать цемент марки 500.

5. На примере расчета технических данных мельницы показано, что ее характеристики не ухудшатся в связи с изменениями.

7. Разработана технология изготовления модернизированной бронеплиты.

8. Рассчитаны технико-экономические показатели изменения профиля футеровки.





## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс.», 2007 – 256 с.
- 2 Ковшов, А. Н. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. Н. Ковшов. - Изд. 2-е, испр. ; Гриф УМО. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2008. - 319 с.
- 3 Лебедев, В. А. Технология машиностроения : Проектирование технологий изготовления изделий : учеб. пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. - Гриф УМО. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2008. - 361 с.
- 4 Маталин А. А. Технология машиностроения : учеб. для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. - Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. - Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2010. - 512 с.
- 5 Суслов, А. Г. Технология машиностроения : учеб. для вузов / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. - Москва : Машиностроение, 2007. - 429 с.
- 6 Расторгуев Д. А. Проектирование технологических операций [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 140 с.
- 7 Расторгуев Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2013. - 51 с.
- 8 Марочник сталей и сплавов / сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2003. - 782 с.

9 [www.vniiinstrument.ru](http://www.vniiinstrument.ru)

10 Панов, А.А. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А.Панов, В.В.Аникин, Н.Г. Байм и др.; под общ. ред. А.А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988.

11 Технология машиностроения : учеб. пособие для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Основы технологии машиностроения / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина . - Изд. 3-е, стер. ; Гриф МО. - Москва : Высш. шк., 2008. - 278 с.

12 Технология машиностроения : учеб. пособие для вузов. В 2 кн. Кн. 2. Производство деталей машин / Э. Л. Жуков [и др.] ; под ред. С. Л. Мурашкина. - Изд. 3-е, стер. ; Гриф МО. - Москва : Высш. шк., 2008. - 295 с. : ил. - Библиогр.: с. 292-293.

13 Технология машиностроения : учеб. пособие для вузов / под ред. М. Ф. Пашкевича. - Минск : Новое знание, 2008. - 477 с.

14 Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. - 5-е изд., испр. - Москва : Машиностроение-1, 2003. - 910 с.

15 Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 2 / А. М. Дальский [и др.] ; под ред. А. М. Дальского [и др.]. - 5-е изд., испр. - Москва : Машиностроение-1, 2003. - 941 с.

16 Гузеев В. И., Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением : справочник / В. И. Гузеев, В. А. Батуев, И. В. Сурков ; под ред. В. И. Гузеева. - 2-е изд. - Москва : Машиностроение, 2007. - 364, [1] с.

17 Режимы резания металлов : справочник / Ю. В. Барановский [и др.] ; под ред. А. Д. Корчемкина. - 4-е изд., перераб. и доп. - Москва : НИИ-Тавтопром, 1995. - 456 с.

18 Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов : справочник / под общ. ред. В. И. Баранчикова. - Москва : Машиностроение, 1990. - 399 с.

19 Расчет припусков и межпереходных размеров в машиностроении: Учеб. пособ. Для машиностроит. спец. вузов/ Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев, А.Г. Схиртладзе, М.С. Островский; Под ред. В.А. Тимирязева. – 2-е изд. Высш. шк. 2007 г.

20 Афонькин, М.Г. Производство заготовок в машиностроении. / М.Г. Афонькин, В.Б. Звягин – 2-е изд., доп. и пер.ера. СПб: Политехника, 2007 – 380с.

21 Боровков, В.М. Заготовки в машиностроении : учеб. пособие для вузов по спец. 1201 "Технология машиностроения" / В. М. Боровков [и др.] ; ТГУ. - Гриф УМО; ТГУ. - Тольятти : ТГУ, 2007. - 67 с. : ил. - 34-00.

22 Metallorезущие станки [Электронный ресурс] : учебник. В 2 т. Т. 1 / Т. М. Авраимова [и др.] ; под ред. В. В. Бушуева. - Москва : Машиностроение, 2011. - 608 с.

23 Metallorезущие станки [Электронный ресурс] : учебник. В 2 т. Т. 2 / В. В. Бушуев [и др.] ; под ред. В. В. Бушуева. - Москва : Машиностроение, 2011. - 586 с.

24 Блюменштейн В. Ю. Проектирование технологической оснастки : учеб. пособие для вузов / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. - Изд. 3-е, стер. ; гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 219 с.

25 Горохов В. А. Проектирование технологической оснастки : учеб. для вузов / В. А. Горохов, А. Г. Схиртладзе, И. А. Коротков. - Гриф УМО. - Старый Оскол : ТНТ, 2010. - 431 с.

26 Ермолаев В.В. Технологическая оснастка. Лабораторно-практические работы и курсовое проектирование: учеб. пособ. – М.: Изд-во «Академия», 2012. – 320 с.

27 Зубарев, Ю.М. Расчет и проектирование приспособлений в машиностроении [Электронный ресурс] : учебник. - Электрон. дан. - СПб. : Лань, 2015. - 309 с.

28 Тарабарин, О. И. Проектирование технологической оснастки в машиностроении : учеб. пособие для вузов / О. И. Тарабарин, А. П. Абызов,

В. Б. Ступко. - Изд. 2-е, испр. и доп. ; гриф УМО. - Санкт-Петербург : Лань, 2013. - 303 с.

29 Станочные приспособления : справочник. В 2 т. Т. 1 / редсовет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.] ; ред. тома Б. Н. Вардашкин [и др.]. - Москва : Машиностроение, 1984. - 592 с.

30 Станочные приспособления : справочник. В 2 т. Т. 2 / редсовет: Б. Н. Вардашкин (пред.) [и др.] ; ред. тома Б. Н. Вардашкин [и др.]. - Москва : Машиностроение, 1984. - 655 с.

31 Григорьев, С. Н. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ : [справочник] / С. Н. Григорьев, М. В. Кохомский, А. Р. Маслов ; под общ.ред. А. Р. Маслова. - Москва : Машиностроение, 2006. - 544 с.

32 Болтон У. Карманный справочник инженера-метролога. / У Болтон – М : Издательский дом «Додэка-XXI», 2002 – 384 с.

33 Палей М. А. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. Ч. 1 / М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. - 8-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург : Политехника, 2001. - 576 с.

34 Палей М. А. Допуски и посадки : справочник. В 2 ч. Ч. 2 / М. А. Палей, А. Б. Романов, В. А. Брагинский. - 8-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург : Политехника, 2001. - 608 с.

35 Артамонов, Е.В. Проектирование и эксплуатация сборных инструментов с сменными твердосплавными пластинами [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Артамонов, Т.Е. Помигалова, М.Х. Утешев. - Электрон.дан. - Тюмень :ТюмГНГУ (Тюменский государственный нефтегазовый университет), 2013.

36 Булавин, В.В. Режущий инструмент [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. - Электрон. дан. - Пенза : ПензГТУ (Пензенский государственный технологический университет), 2009. — 100 с.

37 Кожевников, Д.В. Режущий инструмент [Электронный ресурс] : учебник / Д.В. Кожевников, В.А. Гречишников, С.В. Кирсанов [и др.]. - Электрон. дан. - М. : Машиностроение, 2014. — 520 с.

38 Кирсанова, Г.Н. Руководство по курсовому проектированию металлорежущих инструментов: учебное пособие для вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / Под общ. ред. Г.Н. Кирсанова. – М.: Машиностроение, 1986. – 386 с.

39 Резников Л. А. Проектирование сложнопрофильного режущего инструмента [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Л. А. Резников ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2014. - 207 с. : ил. - Библиогр.: с. 202-203.

40 Романенко, А.М. Режущий инструмент [Электронный ресурс] : учебное пособие. - Электрон. дан. - Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2012. - 103 с.

41 Шагун, В. И. Металлорежущие инструменты : учеб. пособие для студ. вузов / В. И. Шагун. - Гриф УМО. - Москва : Машиностроение, 2008. - 423 с.

42 Справочник конструктора-инструментальщика / В. И. Баранчиков [и др.] ; под общ. ред. В. А. Гречишникова, С. В. Кирсанова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Машиностроение, 2006. - 541 с.

43 Вороненко, В.П. Проектирование машиностроительного производства : учеб. для вузов / В. П. Вороненко, Ю. М. Соломенцев, А. Г. Схиртладзе. - 3-е изд., стер. ; Гриф МО. - Москва : Дрофа, 2007. - 380 с. : ил. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 378-380.

44 Козлов, А. А. Проектирование механических цехов [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / А. А. Козлов ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - Тольятти : ТГУ, 2015. - 47 с.

45 Зубкова, Н.В. Методические указания по экономическому обоснованию курсовых и дипломных работ по совершенствованию технологических процессов механической обработки деталей / Н.В. Зубкова – Тольятти : ТГУ, 2005.

46 Бычков, В.Я. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Я. Бычков, А.А. Павлов, Т.И. Чибисова. - Электрон. дан. - М. : МИСИС, 2009. - 146 с.

47 Горина, Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие. / Л. Н. Горина - Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. – 33 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ





Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание	
<u>Документация</u>							
ДП.071375.012 СБ							
Литейная форма в сборе							
<u>Детали</u>							
Справ. №	1		ДП.071375.012.002	Фильтровальная сетка	1		
	2		ДП.071375.012.004	Стержень	1		
	3		ДП.071375.012.006	Выпор с прибылью	1		
	<u>Стандартные изделия</u>						
	4		ДП.071375.012.001	Верхняя опока ГОСТ 14982-69	1		
5		ДП.071375.012.005	Нижняя опока ГОСТ 14982-69	1			
<u>Материалы</u>							
Подп. и дата	6		ДП.071375.012.003	Формовочная смесь			
Инд. № дубл.							
Взам. инд. №							
Подп. и дата							
Инд. № подл.	16.ДП.504.01.06						
	Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Левина					
	Проб.	Резникоф					
Исполн.	Виткалов						
Утв.	Байрацкий						
Литейная форма в сборе				Лит	Лист	Листов	
						1	
				ТГУ, гр. ТМз-1001			
Копирабол				Формат А4			