

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

---

Институт физики высоких технологий  
Специальность Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов  
Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
<b>Проект реконструкции сырьевой мельницы ООО «Топкинский цемент»</b>

УДК 666.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5301	Демидова Мария Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лотов В. А.	доктор технических наук		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	кандидат экономических наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	кандидат биологических наук.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Погребенков В. М.	доктор технических наук		

Томск – 20 16 г.

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

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки (специальность) Химическая технология тугоплавких  
неметаллических и силикатных материалов  
Кафедра технологии силикатов и наноматериалов

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)      (Дата)      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Дипломного проекта

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5301	Демидова Мария Александровна

Тема работы:

Проект реконструкции сырьевой мельницы ООО «Топкинский цемент»

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Перенос межкамерной перегородки и заменой межкамерной перегородки элеваторного типа на прутковую межкамерную перегородку на сырьевой мельнице №9.  Производительность – 55-90 т/ч.  Режим работы – непрерывный
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Обеспечение грубомолотым сырьевым шламом вращающихся печей цеха «Обжиг»

<b>Перечень графического материала</b>	1. Общий план цеха «Сырьевой» 2. Мельница 3,2x15 3. Разрез цеха «Сырьевой» 4. Технологическая схема производства цемента 5. Графики безубыточности
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна
Социальная ответственность	Антоневич Ольга Александровна

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


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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Лотов Василий Агафонович	Доктор технических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5301	Демидова Мария Александровна		

## Содержание

Введение .....	3
1. Общая часть	
1.1. Техничко-экономическое обоснование реконструкции сырьевого цеха .....	7
1.2. Характеристика исходного сырья .....	8
1.3. Ассортимент и ГОСТ выпускаемой продукции .....	13
1.4. Физико-химические основы помола сырьевой смеси .....	18
2. Технологическая часть	
2.1 Характеристика способа производства и описание технологической схемы .....	22
2.2. Расчет состава сырьевой смеси .....	28
2.4. Обоснование выбора, краткая характеристика основного оборудования до и после модернизации .....	49
3. Специальная часть	
3.1. Расчет основных параметров мельницы .....	55
4. Автоматизация и контроль предприятия	
4.1. Автоматизация технологических процессов .....	81
4.2. Технологический контроль производства .....	89
5. Производственная и экологическая безопасность	
5.1 Производственная санитария .....	91
5.2. Безопасность технологического процесса .....	99
5.3. Электробезопасность .....	102
5.4. Противопожарная безопасность .....	103
5.5. Экологическая безопасность .....	104
5.6. Чрезвычайные ситуации .....	105
6. Строительная часть .....	109
7. Экономическая часть .....	113
Заключение по проекту .....	132
Список литературы .....	133

## Реферат

Дипломный проект на тему «Реконструкция сырьевой мельницы 3,2x15м (перенос межкамерной перегородки)» состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка состоит из 134 листов, содержит 41 таблиц и 10 рисунков.

В текстовую часть входят: введение, технико-экономическое обоснование, технологическая часть с кратким описанием способа производства и ее схемой, расчет сырьевой смеси, расчет материального баланса и производительности. В механический расчет входит расчет корпуса на прочность, расчет цапф и болтов соединяющих фланец барабана с крышкой, расчет подшипников и мощности электродвигателя. В текстовую часть также входят автоматизация производства, безопасность и экологичность производства и организационно-экономическая части литературный обзор.

Графическая часть дипломного проекта состоит из 5 листов формата А1.

## Введение

Большую роль в развитии культуры и техники сыграли строительные материалы. Без них невозможно было бы возведение жилых, промышленных и общественных зданий, дорог, мостов, туннелей, плотин и многих других сооружений.

Одно из первых мест среди строительных материалов занимают вяжущие вещества, главным образом – цемент.

Цементная промышленность Российской Федерации за период экономических реформ прошла стадию длительного спада производства и находится в состоянии подъема деловой активности.

Увеличение производства цемента было обеспечено ростом валового внутреннего продукта по стране и увеличением инвестиций в основной капитал.

За 2006 год в России произведено 37690,1 тыс. тонн цемента или на 6,9% больше, чем в 2005г.

За счет роста инвестиций на строительство жилых домов их ввод в эксплуатацию в 2006г. увеличился в 48 из 49 областях и Республиках Российской Федерации.

Цементный клинкер – основной полуфабрикат получения цемента, обжигаясь в печах 9 предприятий, работающих по сухому способу, и во вращающихся печах мокрого способа на 35 предприятиях.

Основное количество цемента представляет собой портландцемент общестроительного и специального назначения. В 2006г. его доля в общем выпуске составила 93% или на 3,3% больше показателя 2005г. В том числе портландцемент бездобавочный – 24,6%, с минеральными добавками – 51,7%, сульфатостойкий – 5,1%.

Производство шлакопортландцемента в 2006 г. составило 5,1% от общего выпуска цемента и снизилось против уровня 2005г. на 2,8%.

Также сократился выпуск пуццоланового цемента с 30,0 до 26 тыс. тонн.

Рост качественных характеристик цемента обеспечивается, хорошо обожженным высокоактивным клинкером. Его выпуск, благодаря налаженной подготовке сырья и улучшенной технологии обжига, в 2006г. был увеличен.

На нынешнем этапе развития цементной промышленности, Является увеличение выпуска тарированного цемента.

В 2006г. выпуск тарированного цемента на 45 предприятиях составил 5980 тыс. тонн. Однако информация об упаковке цемента, поступившая от цементных предприятий России не полностью отражает состояние объема продаж упакованного цемента потребителям.

Оценивая состояние цементной промышленности России, нужно отметить следующее.

Отрасль в целом прошла стадию экономического спада и в настоящее время находится в состоянии подъема.

Большая часть предприятий России стала собственностью крупных корпораций, в том числе иностранных.

Степень износа активной части основных производственных фондов по отрасли на начало 2006г. составила 65,17%.

В то же время показатели отчислений на их амортизацию и восстановление резко сократилось. У большинства цементных предприятий нет средств на обновление основных производственных фондов из-за высокой себестоимости и низкой рентабельности производства цемента. Это показатель в среднем по отрасли не превышает 11,7%.

Совершенно очевидно, что цементная промышленность России нуждается в серьезных инвестициях. Государство может оказать цементным предприятиям существенную помощь в решении ряда важных проблем. Например, упорядочением взаимодействия с естественными монополиями – Газпромом, РАО «ЕЭС России», МПС. Внеплановые отключения газа, электроэнергии, недопоставка вагонов приводят к материальному ущербу, физическому износу оборудования, срывают производственные планы.

Цементная промышленность России нуждается так же в государственной поддержке в части прохождения согласования инвестиционных проектов и получения разрешений оформление земельных отводов по ведению горных работ, в установлении для предприятий цементной промышленности статуса

отрасли с сезонными условиями производства с установлением соответствующего вида налогообложения и т. п.

Еще одна причина того, что сухой способ производства в России не нашел должного применения. Речь идет о подготовке сырья, которое нужно доводить до необходимой кондиции по сухому способу. Необходим более строгий контроль, за технологическим процессом на всех его переделах, начиная от добычи сырья в карьере и заканчивая помолом цемента. Это серьезная задача, стоящая перед всеми цементными предприятиями.

Надежду на подъем цементной промышленности России дает тот факт, что уже третий год подряд цементные предприятия производят цемента больше на 7-13%, чем в предыдущие годы.

Внедрение менее капиталоемких, но весьма эффективных технологий, например, широким внедрение помола сырья и цемента в замкнутом цикле. Это позволит повысить качество цемента и на 15-20% сократить расход электроэнергии на помол цемента. Такая технология эффективна в сочетании с добавками суперпластификаторами и ускорителями твердения.

Очевидно, что сухой способ производства цемента эффективен и необходим для Российской промышленности, но для его успешного внедрения нужны крупные инвестиции, политическая и экономическая стабильность в стране, активная финансово-кредитная политика собственников предприятий, направленная на привлечение нужных инвестиций.

В развитии цементной промышленности на перспективный период в крупном плане необходимо признать приоритетными следующие направления:

- техническое перевооружение и реконструкция заводов с целью обновления основных фондов и доведение доли сухого способа производства цемента до 80-85 %;

- обеспечение широкого вовлечения в хозяйственный оборот отходов производства смежных отраслей промышленности;

- подготовка и повышение квалификации специалистов цементной промышленности;

- уменьшение вредных выбросов в атмосферу и улучшение условий труда;
- переоснащение машиностроительной базы и цементного оборудования нового поколения.

Оптимизация ассортимента цемента, увеличение выпуска смешанных цементов - весьма эффективны для снижения расхода топлива. Использование смешанных цементов экономически целесообразно, так как экономится 10 - 15 % клинкера. Применение металлургических шлаков и золы уноса ТЭС, пуццолановых добавок тоже очень перспективно.

Есть еще целый ряд уже апробированных технических решений, обеспечивающих снижение расхода топлива на обжиг клинкера при мокром способе его производства. Снижение влажности шлама за счет применения новых, более эффективных разжижителей а так же за счет повышения тонкости помола сырьевой смеси.

При работе по новой энергосберегающей технологии мельницы домола не нужны. Каждая мельница будет работать в замкнутом цикле за счет подачи ее шлама из приемка экстремально грубомолотого шлама на сепаратор, установленный над соответствующей мельницей экстремально грубого помола. Прошедшая сепаратор фракция до 1,5-3мм будет направлена в приемок готового шлама, а отделенная верхняя фракция более 1,5-3мм поступит в мельницу на домол.

Следует ожидать, что острота разделения шлама повысится и количество шлама, возвращаемого на домол резко сократится. Этому должна способствовать более высокая текучесть грубомолотого шлама.

Так как производительность сырьевой мельницы возрастет до 3-3,5 раз, следует ожидать уменьшение энергозатрат и увеличение производительности труда на единицу готового продукта и соответственно уменьшение себестоимости.

## 1.Общая часть

### 1.1.Технико–экономическое обоснование реконструкции сырьевого цеха

Площадку для строительства цементного завода выбирают, как правило, вблизи месторождений основных исходных материалов – карбонатного и глинистого компонентов. Это делается с целью уменьшить расходы на транспорт и довести до минимума запасы, а следовательно, и емкости складов сырья на площадке завода.

Сырьевой базой Топкинского цементного завода является Соломинское месторождение известняков и глин, расположенное в 5 км от завода. Известняки и глина Соломинского месторождения пригодны для производства портландцемента марки 500 (ПЦ 500-ДО).

Добыча ведется открытым способом, делается вскрыша – снимается слой пустой породы до 5 метров.

Известняк начинают измельчать на карьере, буровзрывным способом для погрузки и доставки на первичное дробление.

В качестве корректирующих добавок используются железосодержащие отходы анилинокрасочного производства – трифолин, г. Кемерово.

В качестве технологического топлива газ ТД «Востокгазпром», г. Томск, поставщик ООО «Кузбассрегионгаз», г.Кемерово.

В качестве гидравлической добавки используется гранулированный шлак, поставляемый ОАО «Финнарт Сиб» г. Новокузнецк.

В качестве регуляторов схватывания цемента применяется гипсовый камень ОАО «Ергач», ст. Ергач Пермской области и ОАО «Нукутский гипсовый карьер», п. Новонукутский Иркутской области.

Электроэнергия поставляется ОАО «Кузбассэнерго», г. Кемерово.

В цехе «Сырьевой» установлено 9 шаровых мельниц. Средняя производительность мельниц 85 т/час (сырьевого шлама). Согласно графику Т.О. и ремонта, эффективное время работы оборудования составляет 7100 часов в год. Соответственно истинная производительность цеха:

$$9 \cdot 85 \cdot 7100 = 5431500 \text{ т/год.}$$

Что не соответствует установленному плану, т.к. потребность 5 вращающихся печей в сырьевом шламе (согласно материальному балансу) составляет 5729304,1 т/год. Для того что бы обеспечить непрерывную работу цеха «Обжиг», решено, сырьевую мельницу №5 реконструировать для экстремально грубого помола в замкнутом цикле, что соответственно увеличит ее производительность.

После реконструкции мельницы производительность ее возрастет до 140 т/час. Следовательно, средняя производительность сырьевых мельниц составит 98,8 т/час. Производительность сырьевого цеха составит 6326100 тонн шлама в год, что обеспечит бесперебойную работу цеха «Обжиг».

## **1.2.Характеристика исходного сырья**

*Темно-серый известняк* - химический состав (среднее значение) - CaO-54%, T-96, SiO<sub>2</sub>-1,4%, MgO-0,4%

Текстура плотная, массивная. Структура тонко- и мелкокристаллическая. Темный цвет обусловлен битуминозностью известняка (гумусовое вещество). Отмечаются мелкие (1-5 мм) гнезда крупно- и среднекристаллического молочно-белого и водянопрозрачного кальцита. Микроскопически порода представлена криптокристаллическим материалом в виде обломков карбоната буровато-серого цвета за счет пелитоморфного (глинистого) вещества. Пелитизированные зерна карбоната утопают в мелко- и крупнокристаллическом кальците темно-серого цвета. Прослеживаются три основных системы трещиноватости. Наиболее четкая – совпадает с напластованием. Образец взят в северной части карьера восточного борта горизонт +190 м

*Серый известняк* - химический состав (среднее значение) - CaO-54%, T-97, SiO<sub>2</sub>-1,2%, MgO-0,7%.

Текстура плотная, массивная. Структура тонко- и мелкокристаллическая. Отмечаются микротрещины (до 1-2 мм), заполненные белым кальцитом; а

также гнезда (1-5 мм) среднезернистого белого и водянопрозрачного кальцита. Под микроскопом порода имеет псевдоолитовую структуру и состоит из карбоната и кварца. Сколы образца отражают три основных системы трещиноватости, одна из которых совпадает с напластованием.

Образец взят с восточного борта на горизонте +175 метров.

Известняк серый среднезернистый, розовый, мергелистый.

*Серый среднезернистый известняк* - химический состав (среднее значение) - CaO-52%, T-92, SiO<sub>2</sub>-2%, MgO-0,4.

Текстура массивная, слаботрещиноватая. Структура средне- и крупнозернистая, с средними пятнами тонкокристаллического водянопрозрачного кальцита и розового известняка. Кроме того имеются прожилки зеленовато-серого мергелистого вещества. Микроскопически известняк состоит из зерен кальцита, часто бесцветных с перламутровой окраской. Зерна кальцита окаймляются глинистым веществом. Видны также красновато-бурые включения гидроокислов железа. Сколы образца отражают три системы трещиноватости, одна из которых совпадает с напластованием.

Подобные известняки залегают в верхних частях известняковой толщи ниже розовых известняков.

Образец взят в северной части карьера северо-западного борта горизонта +190 м.

*Розовый известняк* - химический состав (среднее значение) - CaO-50%, T-91, SiO<sub>2</sub>-2%, MgO-0,6%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8%.

Текстура плотная, массивная, пятнисто-полосчатая, отличается повышенной прочностью. Структура крупно- и грубокристаллическая. Под микроскопом структура породы крупнозернистая. Зерна кальцита округлой или вытянутой формы. По трещинам порода пропитана гидроокислами железа вишневого цвета. Видны пятна и полосы мелкокристаллического водянопрозрачного кальцита. В породе видны окаменелые организмы в виде округлых образований с внутренними перегородками. Розовые известняки стратиграфически завершают известняковую толщу.

Образец взят в западном борту карьера горизонт +190 м.

*Мергелистый известняк* - химический состав (среднее значение) - СаО-45%, Т-80, SiO<sub>2</sub>-10%, MgO-1,7%.

Текстура массивная, плотная, пятнистая. Структура неравномерно-зернистая, от тонко- до крупнозернистой. Цвет зеленовато-серый. Зеленые включения представляют собой по химическому составу мергель верхней перекрывающей толщи. Основная известняковая порода микроскопически состоит из зерен кальцита округлой и вытянутой формы, часто бесцветных с перламутровой окраской. Зерна кальцита окаймляются пелитоморфным зеленым веществом. Включения зеленовато-серого мергелистого вещества по химическому составу соответствуют мергелям верхней толщи: СаО-13%, SiO<sub>2</sub>-47%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-10 %, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-4%. Структура мергеля мелкозернистая. Под микроскопом представляет собой окремнелый органогенный известняк реликтовой и крупнокристаллической структуры. Минеральный состав: карбонаты, серицит, мелкообломочный кварц. Цементирующей массой является кальцит. Многочисленные включения фауны: раковины брахиопод. По ним и определен возраст Соломинского месторождения известняков и мергелей. Образец взят с северо-западного борта северной части карьера, горизонт +200 м.

Известково-мергелистый сланец, зеленый глинистый сланец (отрабатывается в скальный отвал).

#### Характеристика глин

Глина бурая, голубовато-серая, красновато-коричневая, суглинок

#### *Суглинок пылеватый*

Представляет собой рыхлую песчано-глинистую осадочную породу серовато-коричневого цвета. Характерны – пористость, пылеватость. Видны железо-марганцовистые включения и прожилки. Минеральный состав: кварц, полевые шпаты, бурый железняк, роговая обманка, растительные остатки. Видны многочисленные известковистые стежения. Содержание глинистых частиц около 30%. Мощность суглинков в северной части карьера около 1,5 метров. Залегают непосредственно под почвенным слоем.

Химический состав: - CaO-7%, SiO<sub>2</sub>-60%, MgO-1,5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,0%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5,5%

Образец взят в северной части карьера, юго-восточном борту, залегают непосредственно под почвенным слоем, сверху до трех метров мощностью.

*Глина (бурая) светло-коричневая*

Химический состав: - CaO-4%, SiO<sub>2</sub>-62%, MgO-1,8%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,0%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 6,0%.

Плотная, вязкая, жирная на ощупь, гранулометрический состав довольно однороден, размеры частиц < 0,01 мм. Минеральный состав: лимонит, кварц, полевые шпаты, бурый железняк, роговая обманка, кальцит. Мощность глин от 2 до 30 метров.

Образец взят в северной части карьера юго-восточный борт, вскрышной уступ.

*Голубовато-серая глина «синяя»*

Плотная, вязкая, пластичная, однородная, с редкими включениями коричневых глин от 1 мм до 15 мм.

Химический состав: - CaO-8,3%, SiO<sub>2</sub>-56,8%, MgO-1,8%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 13,8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-5,0%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O=3,5%. Почти повседневно распространена в восточном борту северной части карьера. Мощность пластов глин достигает 20 метров. Залегают непосредственно под бурыми и красновато-бурыми глинами.

Образец взят на горизонте +210 метров, восточном борту

*Глина красновато-коричневая*

Весьма плотная, пластичная, однородная

Химический состав: - CaO-3,3%, SiO<sub>2</sub>-61,5%, MgO-1,6%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 16,1%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-6,3%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O=2,8%.

На карьере распространены повсеместно. Как правило мощные пласты коричневых глин с красноватым оттенком, с повышенным содержанием Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> являются промежуточными между коричневыми и карстовыми глинами.

Образец взят в северной части карьера в восточном борту на горизонте + 190 м.

Глина желтовато-красного, кирпично-красного (охра) цвета.

*Глина желтовато-красная (охра)*

Представляет собой очень тонкоотмытый материал, заполняющий карстовые воронки, полости и тещины в известняках. Текстура глины плотные, очень вязкая, однородная.

Химический состав: - CaO-2,2%, SiO<sub>2</sub>-49,5%, MgO-1,1%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 23,0%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9,5%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O=1,6%. Возраст охры меловой около 100 млн.лет.

Минералогический состав: лимонит, кварц, гидроксид железа.

Образец взят в северной части карьера северо-западный борт.

*Глина кирпично- красная (охра)*

Представляет собой тонко-отмытый материал, заполняющий наряду с охристо-желтыми глинами карстовые воронки, полости и трещины в известняках. Глина очень плотная, вязкая, с редкими включениями известняка (от 0,3 до 1,0 мм).

Химический состав: - CaO-1,9%, SiO<sub>2</sub>-55,2%, MgO-1,4%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 20,8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-9,5%, K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O=1,6%. Минералогический состав: лимонит, кварц, гидроксид железа.

Таблица 1.

Удельные нормы расхода материалов

№	Наименование	Основные поставщики	Нормативно техническая документация	Единица измерения	Нормы расхода
1.	Сырье:	Соломинское месторождение	СТП 53086734-01-2004 СТП 53086734-02-2004	кг/т кл	1290,0
	Известняк			кг/т кл	240,0
1.	Глина	ООО «Транс-К», г.Кемерово ООО»Забайкальская минеральная компания», г.Казань	ТУ2423-096-05766575-2000	кг\т кл	30.0
	Корректирующие добавки: трифолин				

### 1.3.Ассортимент и ГОСТ выпускаемой продукции

Таблица 2.

#### Ассортимент выпускаемой продукции

Производство цемента			
Номенклатура продукции		ТР 53086734-1.1-03	
		Цемент	
		530086734.01000.00005	
№		НТД	Код по ОКП
1	2	3	4
1	Портландцемент без минеральных добавок марки 500 ( ПЦ 500 Д0). навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 10178-85	57 3113 1001 06 57 3113 1002 05 57 3113 1003 04
2	Портландцемент с активными минеральными добавками до 20% марки 400 ( ПЦ 400 Д20)  навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 10178-85	57 3312 2001 04 57 3312 2002 03 57 3312 2003 02
3	Шлакопортландцемент ( ШПЦ 400) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 10178-85	57 3512 0001 09 57 3512 0002 08 57 3512 0003 07
4	Шлакопортландцемент марки 300 ( ШПЦ 300) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 10178-85	57 3511 0001 03 57 3511 0002 02 57 3511 0003 01
5	Портландцемент тампонажный для нормальных температур ( ПЦТ – 1- 50) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 1581-96	57 3232 001 07 57 3232 002 06 57 3232 003 05
6	Портландцемент тампонажный с минеральными добавками		
	для нормальных температур ( ПЦТ 11-50) Навалом В мешках В контейнерах	ГОСТ 1581-96	57 3442 1001 05 57 3443 1002 04 57 3442 1003 03

Продолжение таблицы 2.

7	Портландцемент тампонажный для умеренных температур ( ПЦТ -1-100) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 1581-96	57 3233 0001 02 57 3233 0002 01 57 3233 0003 00
8	Портландцемент тампонажный с минеральными добавками для умеренных температур ( ПЦТ 11-100) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 1581-96	57 3443 1001 00 57 3443 1002 10 57 3443 1003 09
9	Портландцемент для бетона дорожных и аэродромных покрытий марки 500 ( ПЦ 500 Д0– Н) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 10178-85	57 3113 5001 01 57 3113 5002 00 57 3113 5003 10
10	Портландцемент с активными минеральными добавками до 5% для бетона дорожных и аэродинамических покрытий марки 500 ( ПЦ 500–Д5– Н) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 10178-85	57 3313 6001 05 57 3113 6002 04 57 3213 6003 03
11	Портландцемент бездобавочный сульфатостойкий марки 400 ( СС ПЦ 400–Д0) навалом в мешках в контейнерах	ГОСТ 22266- 94	57 3212 1001 04 57 3212 1002 03 57 3212 1003 02
12	Портландцемент для производства асбестоцементных изделий навалом в мешках в контейнерах	ТУ 21-26-18-91	57 3112 3001 03 57 3112 3002 02 57 3112 3003 01

Заводом предусмотрен выпуск ПЦТ – 1 – 50 для нормальных температур ГОСТ 1581-96.

1. Все цементы по вещественному составу подразделяют на следующие типы:

I – тампонажный портландцемент бездобавочный

I – G – портландцемент тампонажный бездобавочный с

нормированными требованиями при водоцементном отношении, равному 0,44;

I – Н – портландцемент тампонажный бездобавочный с нормированными требованиями при водоцементном отношении, равном 0,38;

II – ПЦТ минеральными добавками;

III – ПЦТ со специальными добавками, регулирующими плотность цементного теста.

2. По температуре применения цементы типов I, II, III, подразделяются на цементы, предназначенные для:

- низких и нормальных температур (15-50° С);

- умеренных температур (51-100° С)

- повышенных температур (101 – 150° С)

3. Цементы должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологическому регламенту, утверждённому изготовителем.

Таблица 3.

Вещественный состав цементов

Тип цемента	Содержание клинкера	Содержание добавок	
		Минеральные добавки	Специальная добавка облегчающая (в т.ч. природная пуццолановая)
I I – G I – H	100	Не допускается	
I	80-94	6-20*	-
III	30-89	-	11-70
		* Добавок осадочного происхождения не должно быть более 10% массы цемента.	

Таблица 4.

## Требования к физико-механическим показателям

Наименование показателя	Значение для цемента при температурах применения	
	Низких и нормальных	
	Тип I, II	Тип III – об
1. Прочность при изгибе, МПа не менее в возрасте 1 сут. 2 сут	- 2,7	- 0,7
2. Тонкость помола: остаток на сите с сеткой № 008 по ГОСТ 6613, % не более - удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг, не менее	12,0 270	10,0 -
3. Водоотделение, мл, не более	8,7	7,5
4. Растекаемость цементного теста, мм, не менее для цемента: - не пластифицированного - пластифицированного	200 220	-

Таблица 5.

## Тампонажно-технические свойства цемента

Наименование показателя	Значение для цемента типов I – G и I - II	
	Не менее	Не более
Прочность на сжатие МПа, через 8ч твердения при температуре:		
38 <sup>0</sup> С	2,1	-
60 <sup>0</sup> С	10,3	-
водоотделение, мл	-	3,5
Консистенция цементного теста через 15-30 мин режима испытания, Вс	-	30
Время загустевания до консистенции 100 Вс, мин	90	120

Требование к химическим параметрам цементов типа I:

Потери при прокаливании, не более 5,0%.

Массовая доля нерастворимого остатка, не более 5,0%

Массовая доля оксида серы ( VI ) SO<sub>3</sub>:

Не менее 1,5%

Не более 3,5

Портландцементный клинкер по химическому составу должен соответствовать технологическому регламенту. Массовая доля оксида магния MgO в клинкере не должна быть более 5,0% Технологические добавки, регулирующие основные тампонажно-технологические свойства цемента и технологические добавки, применяемые для интенсификации помола – по соответствующим нормативным документам.

Таблица 6.

Содержание добавок, вводимых в цемент при помоле в %

Тип цемента	Значение для добавок в пересчете на сухое вещество				
	Ускоритель твердения	Замедлителей загустевания	Пластифицированных	Гидрафобизированных	Водоудерживающих
I, II, III	0.5	0.3	0.5	0.5	1.5
Органических добавок не должно быть более 0,15%					

Партия цемента может быть принята и отгружена, если результаты испытаний соответствует требованиям настоящего стандарта, если иное в части рекомендуемых показателей не предусмотрено договором на поставку цемента.

В случае обнаружения при испытаниях цементы малозначительного дефекта по величине, не превышающей предельного значения, партию цемента принимают, но учитывают её как дефектную при оценке общего уровня качества.

В документе о качестве должно быть указано:

- наименование изготовителя, его товарный знак и адрес;
- наименование и условное обозначение цемента по настоящему стандарту;
- номер партии и дата отгрузки;
- номер вагонов;

- прочность при изгибе в возрасте 1-2 сут;
- водоотделение;
- время загустевания;
- гарантийный срок, сутки;

Физико-механические свойства цемента определяет по ГОСТ 26798.1,  
ГОСТ 26798.2

Химический анализ клинкера и цемента – по ГОСТ 5382

Транспортирование и хранение цементов по ГОСТ 3051

#### **1.4. Физико- химические основы помола сырьевой смеси**

В цементной промышленности применяют различные схемы измельчения сырьевых материалов. Установлено, что качественный цементный клинкер получается при обжиге во вращающихся печах сырьевой смеси, не содержащей частиц крупнее 0,1 мм и с небольшим содержанием очень мелких фракций.

Данная схема представляет собой помол по мокрому способу измельчения, так как сырьевые материалы обладают высокой естественной влажностью и легко диспергируются водой.

Шлам, полученный из твердых пород в многокамерных мельницах, содержит большое количество переизмельченных частиц. Объясняется это тем, что материал, размолотый в первой камере мельницы, уже содержит частицы требуемой тонкости, которые в дальнейшем проходя последующие камеры переизмельчаются.

Присутствие переизмельченных частиц материала в мельнице приводит к снижению эффективности процесса измельчения. Поэтому для удаления из шлама крупных зерен материала предусмотрено классифицирующее устройство, работающее в замкнутом цикле.

В мельнице работающей по замкнутому циклу с классификатором, тонкие частицы, образовавшиеся в первой камере, не поступают во вторую, а

удаляются, другая же, неизмельченная часть материала вторично направляется в мельницу на доизмельчение.

Количество энергии, необходимое для измельчения какого-либо материала до определенного размера, зависит от многих факторов: размера, формы, взаимного расположения кусков, прочности, хрупкости, однородности исходного материала, его влажности, вида и состояния рабочих поверхностей машины. Поэтому установить аналитическую зависимость между расходом энергии на измельчение физико-химическими свойствами измельчаемого материала и результатами процесса можно лишь в самом общем виде.

Исследованием энергоемкости процесса измельчения занимаются давно. В 1867 году профессор П. Риттингер впервые выдвинул гипотезу о том, что работа, расходуемая на измельчение материала, пропорциональна вновь образованной поверхности:

$$A = K\Delta F \quad (1.4.1)$$

где  $K$  – коэффициент пропорциональности;

$\Delta F$  – приращение поверхности.

Впоследствии эта гипотеза была названа первым законом дробления или законом поверхностей.

Размер вновь образованной поверхности можно выразить через начальные и конечные размеры дробильного материала, и если дроблению подвергается не один кусок, а  $Q$  ( $m^3$ ) материала со средним размером кусков, равным  $D_{cp}$ , то окончательная формула, выражающая закон Риттингера:

$$A = K_R (i - 1) \times Q / D_{cp} \quad (1.4.2)$$

Определить коэффициент пропорциональности  $K_R$  между затраченной работой и вновь обнаженной поверхностью весьма трудно, что, безусловно, снижает практическое значение данной формулы.

В 1885 году профессор Ф. Кик, основываясь на формуле из теории упругости, по которой работа деформации:

$$\bar{A} = \sigma_{сж}^2 V / (2E), \quad (1.4.3)$$

где  $\sigma_{сж}$  – напряжение, возникающее при деформации;

$V$  – объем деформируемого тела;

$E$  – модуль упругости,

выдвинул гипотезу, что энергия для одинакового изменения формы геометрически подобных и однородных тел, пропорциональна объемам или массам этих тел.

Эта гипотеза названа вторым законом дробления или законом объемов.

Позже было доказано, что профессор В. Л. Кирпичев предложил ту же зависимость значительно раньше Ф. Кика, а именно в 1874 году, основываясь на общем законе подобия. Поэтому второй закон дробления называется законом Кирпичева-Кика.

Согласно этому закону работа дробления одного куска размером  $D$  будет:

$$A = K_2 D^3, \quad (1.4.4)$$

где  $K_2$  – коэффициент пропорциональности.

Если также принять, что на дробление поступает  $Q$  (кг) материала со средним размером кусков  $D_{cp}$ , то окончательно, выполнив соответствующие преобразования, получим:

$$A = K_K \times Q \lg \frac{D_{cp}}{d_{cp}}. \quad (1.4.5)$$

Данная формула выражает закон Кирпичева-Кика.

После опубликования указанных законов дробления появились работы, посвященные их анализу и сопоставлению. Мнения ученых разделились. Одни считали, что законы Кирпичева-Кика и Риттингера справедливы для разных стадий измельчения: закон Кирпичева-Кика определяет энергию, затрачиваемую на упругую деформацию материала, и не учитывает вновь образованной поверхности, и поэтому закон справедлив для процессов дробления, где основная энергия тратится на деформацию материала; закон Риттингера не учитывает затраты энергии на упругую деформацию и более подходит для процессов помола, где преобладает истирание с интенсивным образованием новой поверхности.

Другие ученые утверждали, что неправильно применять законы Кирпичева-Кика и Риттингера отдельно для разных стадий процесса измельчения. Эти законы дополняют один другой и действуют совместно.

В 1940 году академик П. Ребиндер предложил формулу расхода энергии при измельчении, в которой суммируются работы, затрачиваемые на деформацию разрушаемых кусков и на образование поверхностей:

$$A = K\Delta V + \sigma\Delta F, \quad (1.4.6)$$

где  $K$ ,  $\sigma$  - коэффициенты пропорциональности;

$\Delta V$  – деформированный объем;

$\Delta F$  – вновь образованная поверхность.

Формула П. Ребиндера не получила широкого распространения ввиду отсутствия надежных рекомендаций по методике выбора коэффициентов пропорциональности для конкретного случая.

В 1949 году Ф. Бонд выдвинул гипотезу, названную им третьим законом измельчения. Согласно этой гипотезе элементарная работа, затраченная при дроблении, пропорциональна приращению среднегеометрического между объемом и вновь обнаженной поверхностью:

$$dA = K_B d(\sqrt{VF}), \quad (1.4.7)$$

где  $K_B$  – коэффициент пропорциональности.

Все рассмотренные гипотезы измельчения следует рассматривать именно как гипотезы, но никак не законы, так как они не подтверждаются практическими результатами процесса измельчения.

## **2. Технологическая часть**

В данном разделе приводится характеристика способа производства и описание технологической схемы помола сырья цемента.

Дается характеристика основного и вспомогательного технологического оборудования установленного в цехе.

### **2.1. Характеристика способа производства и описание технологической схемы**

Производство портландцемента включает в себя следующие операции: добыча известняка и глины, подготовка их и приготовление сырьевой смеси заданного состава, обжиг, помол клинкера. Одна из главнейших задач: получение клинкера заданного фазового состава.

Для каждого вида сырья выбирается оптимальный способ подготовки, обеспечивающий тонкий помол, равномерное смешение компонентов при минимальных энергетических затратах. Существует три способа производства портландцемента: мокрый, сухой и полусухой.

Выбор способа производства в большей степени зависит от физико-химических свойств сырья. Так как сырье Соломинского месторождения обладает высокой естественной влажностью и «пестрым» химическим составом то данное производство предусматривает мокрый способ приготовления сырьевой смеси.

При низкой естественной влажности и однородном химическом составе компонентов сырьевой смеси применяют сухой способ производства.

В настоящий момент в России заводы работающие по мокрому способу составляют около 84%, в то время как за рубежом преобладают заводы работающие по сухому способу.

Каждый из способов имеет свои положительные и отрицательные стороны.

Кроме того, положительными сторонами мокрого способа являются: минимальная стоимость подготовки сырья, сниженные капитальные затраты на строительство сырьевого цеха, меньшая численность обслуживающего

персонала, легкость усреднения и корректирования шлама, более высокая марка получаемого цемента, простота технологии.

Технологическая схема приготовления сырьевой смеси по мокрому способу представлена на рис 1.

Карьер сырья располагается вблизи завода. Корректирующие добавки (гипс, трифолин, гр.шлак) – являются привозными.

Добыча сырья ведется открытым способом. Для вскрышных работ применяют экскаваторы.

Скальное сырье (известняки) добывают посредством буровзрывных работ. Для погрузки взорванной породы используют экскаваторы. Мягкие породы суглинки добывают методом прямой экскавации, то есть отделение пласта от породы и погрузка его производится одним экскаватором.

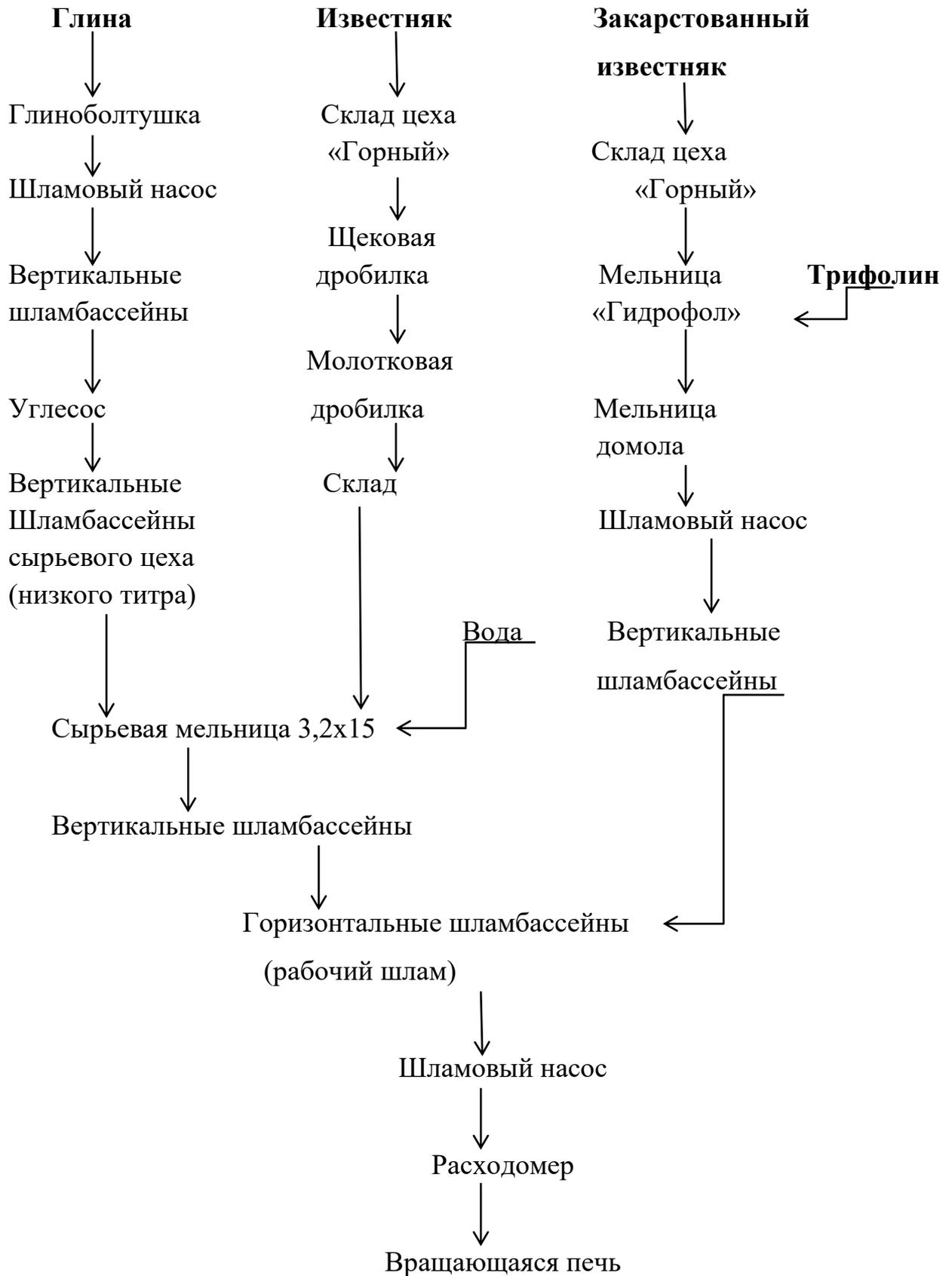
Транспортируют сырье на завод самосвалами и думпкарами. На заводе известняк подвергается двухступенчатому дроблению (в щековой и молотковой дробилках). После дробления известняк поступает в сырьевой склад.

Известняк в складе дробленого известняка мостовыми грейферными кранами подается в расходные бункера мельниц. Крупность загружаемого дробленого известняка не должна превышать 20 мм.

Из расходных бункеров дробленый известняк поступает на диски дисковых питателей и сбрасывается в загрузочные горловины регулировочным ножом. Количество подаваемого материала за один оборот диска регулируется изменением угла установки ножа при помощи исполнительного механизма.

Технологическая вода для приготовления сырьевого шлама в цех подается из горизонтальных бассейнов №№ 7-8.

Рис.1 Схема технологического процесса цеха «Сырьевой»



Глиняный шлам в отделение сырьевых мельниц поступает самотеком с вертикальных шламовых бассейнов №№ 1- 4 на реактивные питатели глиняного шлама, которые находятся на площадке дисковых питателей сырьевых мельниц. Реактивный питатель шлама № 1 обеспечивает подачу глиняного шлама в сырьевые мельницы №№ 1- 4, реактивный питатель шлама № 2 – в сырьевые мельницы №№ 6-9. Дозирование осуществляется при помощи исполнительного механизма с пульта управления.

Материал (дробленый известняк, вода и глиняный шлам) поступает в загрузочные горловины сырьевых мельниц и из них направляется перьями трубошнека в барабаны мельниц. Движение материала вдоль барабана обеспечивается за счет непрерывного подпора со стороны загрузки, производимого новыми порциями поступающего в мельницу материала. В процессе перемещения вдоль барабана материал измельчается посредством ударов свободно падающих мелющих тел (под действием центробежной силы) в I камере и истиранием (перекатывание мелющих тел относительно друг друга) во II камере. Материал выходит из мельниц в виде шлама и поступает самотеком в приямок грубомолотого шлама, где перемешивается сжатым воздухом. Из приямка шламовым насосом № 2 (или № 3) осуществляется постоянная подача шлама на группу классификаторов №5-6. Крупка возвращается в приямок грубомолотого шлама, отклассифицированный шлам – в приямок готового шлама.

По мере наполнения приямка грубомолотым шламом до верхнего уровня (верхнего электрода) автоматически включается шламовый насос № 4 (или №5), транспортирующий шлам на группу классификаторов №№ 1-2 (или №№ 3-4). Крупка направляется на доизмельчение в мельницу домола, при этом на мельнице домола автоматически отключается дисковый питатель и прекращается подача технологической воды в мельницу, отклассифицированный шлам – в приямок готового шлама. При достижении шламом нижнего уровня (нижнего электрода) насос отключается.

Поступивший в мельницу домола материал (крупка) измельчается до необходимой тонкости помола и выходит из нее в виде готового продукта.

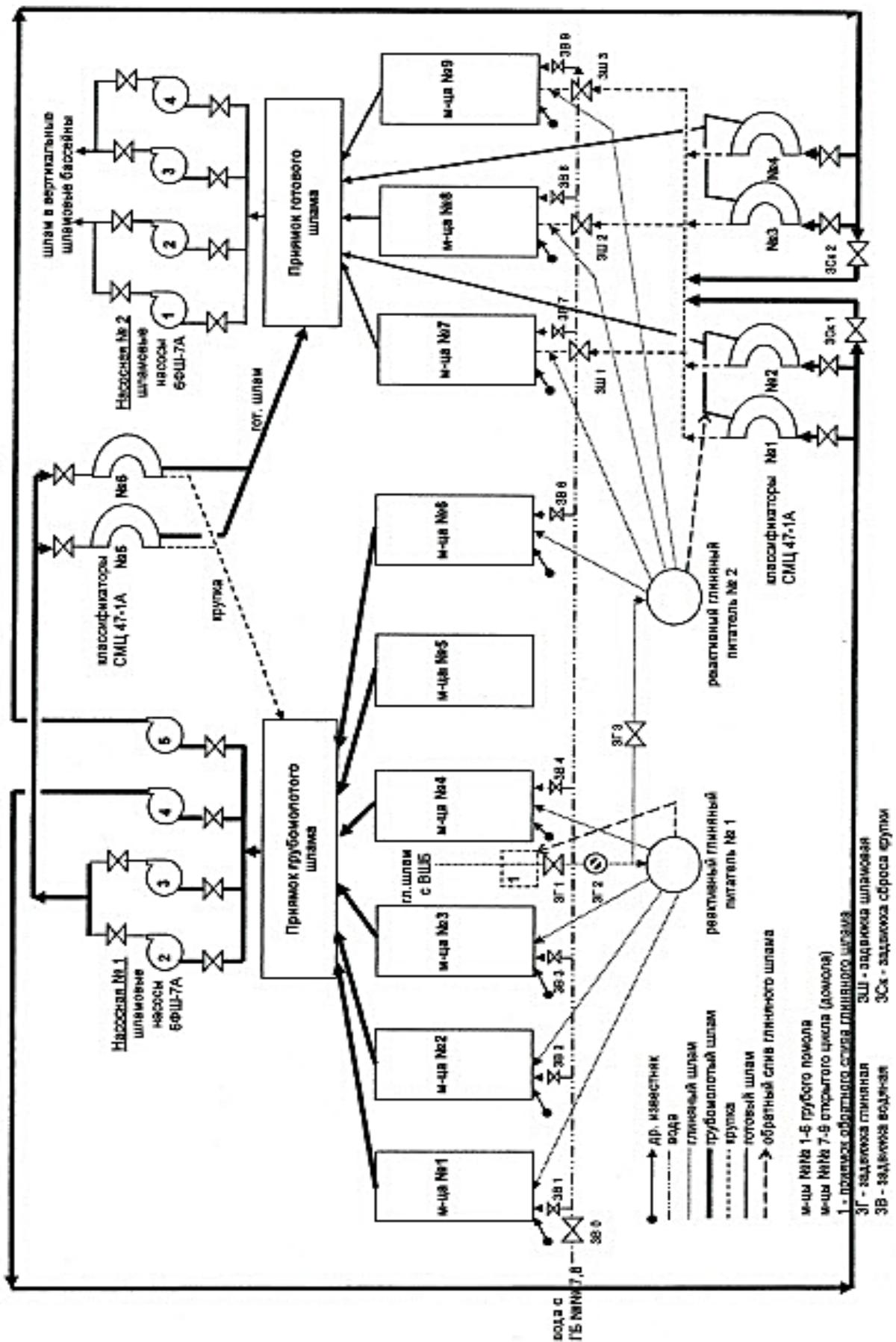
Готовый шлак самотеком поступает в приямок готового продукта, где перемешивается сжатым воздухом и транспортируется шламовыми насосами в вертикальные бассейны №№ 7-10.

Постоянная подача готового шлама в вертикальные шламовые бассейны №№ 7 – 10 – производится шламовым насосом № 1 (или № 2). Периодическая подача шлама в вертикальные бассейны №№ 7- 10 – по мере наполнения приямка шламом до верхнего уровня (электрода). При наполнении приямка шламом до верхнего уровня (верхнего электрода) автоматически включается насос № 3 (или № 4) транспортирующий шлак в вертикальные шламовые бассейны №№ 7 – 10. При достижении шламом нижнего уровня (нижнего электрода) насос отключается. Схема замкнутого цикла приготовления шлама в цехе «Сырьевой» представлена на рис. 2.

При заполнении вертикального бассейна шламом производится автоматический перевод помола в другой бассейн.

Перемешивание шлама осуществляется сжатым воздухом в течении 40 минут, после чего производится отбор пробы для технологического контроля.

Рис 2. Схема замкнутого цикла приготовления шлама в цехе «Сырьевой»



### **2.3.Обоснование выбора, краткая характеристика основного оборудования до и после реконструкции**

Трубная мельница представляет собой пустотелый барабан, закрытый с обеих сторон днищами. Днища отливаются вместе с цапфами. Цапфы опираются на подшипники. Подшипники служат для опирания барабана мельницы. Состоят из рамы, корпуса, подшипника, вкладыша. Корпус подшипника и вкладыш сопрягаются по сферическим поверхностям, что обеспечивает самоустановление подшипника при работе. Внутреннюю поверхность вкладыша заливают баббитом (сплав цветных металлов). Вкладыш имеет два встроенных термодатчика (65 и 80°С). Крышка подшипника соединена с вкладышем болтами. С торцов подшипника расположены войлочные уплотнения (регулируются с помощью нажимных полуколец). Цапфовые подшипники снабжены принудительно-циркуляционной смазочной системой.

Разгрузочная цапфа снабжена лопастями. Барабан мельницы делится на камеры междукламерной перегородкой элеваторного типа. Корпус мельницы отделяется выходной решеткой. Выходные и междукламерные перегородки могут быть секторные и прутковые, характеризуются величиной живого сечения – (отношение площади отверстий к площади всей решетки). Междукламерная перегородка 7-10%, выходная решетка -5-7%.

Одинарная металлическая перегородка мельницы 3,2x15,0 состоит из 20 секторов, скрепленных в центральной части двумя фланцами посредством болтов. Сектора имеют болты, что повышает жесткость крепления перегородки и обеспечивает надежность крепления к барабану. В центральной части перегородки устраивают аспирационные отверстия для уменьшения сопротивления воздуха. Литые междукламерные перегородки изготавливают из твердой марганцовистой стали. Живое сечение перегородки определяется отношением суммарной площади щелей к общей площади перегородки. Живое сечение составляет от 6-10%.

Для предохранения корпуса мельниц от удара мелющих тел и материала, корпус мельниц футеруется бронеплитами: 1 камера- прокат Ц1, Ц2; 2 камера – рифленые плиты. Для защиты днищ применяют специальные лобовые бронеплиты. Бронеплиты крепят к корпусу мельницы двумя способами: болтовые и безболтовые.

Бронефутеровка служит не только для защиты корпуса от износа, но и изменяет скорость вращения, меняет сортировку по длине камеры и по сечению. Форма поверхности плит должна обеспечивать выход мелющих тел из канавок и изменение направления их движения. Частоту вращения мельницы изменить трудно, поэтому профиль бронефутеровки позволяет вносить необходимые поправки в траекторию мелющих тел.

Мелющие тела изготавливаются из марганцовистых или легированных сталей. Полная перегрузка делается через 1800-2000 часов работы мельницы. Частичное высыпание или догрузка через 150-200 часов, обычно загрузка совмещается с техническим осмотром мельницы, а перегрузка – средним ремонтом.

Загрузочный и разгрузочный трубошnek – вращаются вместе с мельницей и имеют на своей поверхности лопатки. Процесс помола в трубных мельницах заключается в измельчении материала под действием мелющих тел. При вращении сырьевых мельниц мелющие тела поднимаются на определенную высоту, затем падают, при этом происходит измельчение материала. В качестве мелющих тел используют шары Ø60-100 мм (1 камера), и шары Ø40 (2 камера).

Мельница приводится во вращение от электродвигателя через редуктор.

В цехе «Сырьевой» установлено 9 шаровых мельниц. Средняя производительность мельниц 85 т/час (сырьевого шлама). Согласно графику Т.О. и ремонта, эффективное время работы оборудования составляет 7100 часов в год. Соответственно истинная производительность цеха:

$$9 \times 85 \times 7100 = 5431500 \text{ т/год.}$$

Что не соответствует установленному плану, т.к. потребность 5 вращающихся печей в сырьевом шламе (согласно материальному балансу)

составляет 5729304,1 т/год. Для того что бы обеспечить непрерывную работу цеха «Обжиг», решено, сырьевую мельницу 3,2х15м реконструировать для экстремально грубого помола в замкнутом цикле, что соответственно увеличит ее производительность.

После проведения реконструкции в первой камере остается существующая бронефутеровка, междукамерная перегородка остается прежняя - элеваторного типа. Ширина щелей междукамерной перегородки остается неизменной. Измениться лишь длина первой камеры. Производительность дугового классификатора при увеличении ширины щелей с 0,3 мм до 1,5-3 мм существенно возрастет.

Таблица 18.

Ассортимент мелющих тел и положение междукамерной перегородки

мельницы

Длина камер, м		Ассортимент шаров 1-ой камеры, т					Ассортимент шаров 2-ой камеры, т	Σ загрузки, т
1 камера	2 камера	100 мм	90 мм	80 мм	70 мм	60 мм	40 мм	
7,04	7,79	7,7	7,6	15,9	15,8	18	79	144

После реконструкции мельницы производительность ее возрастет до 136т/час. Оборудование установленное в цехе по техническим характеристикам в состоянии обеспечить дозирование сырьевых материалов.

Тонкость помола после реконструкции сырьевой мельницы 3,2х15м (сито 0,08мм) составит 30-35. Схема работы мельницы в замкнутом цикле представлена на рисунке 3.

Рис.3 Схема работы мельницы в замкнутом цикле

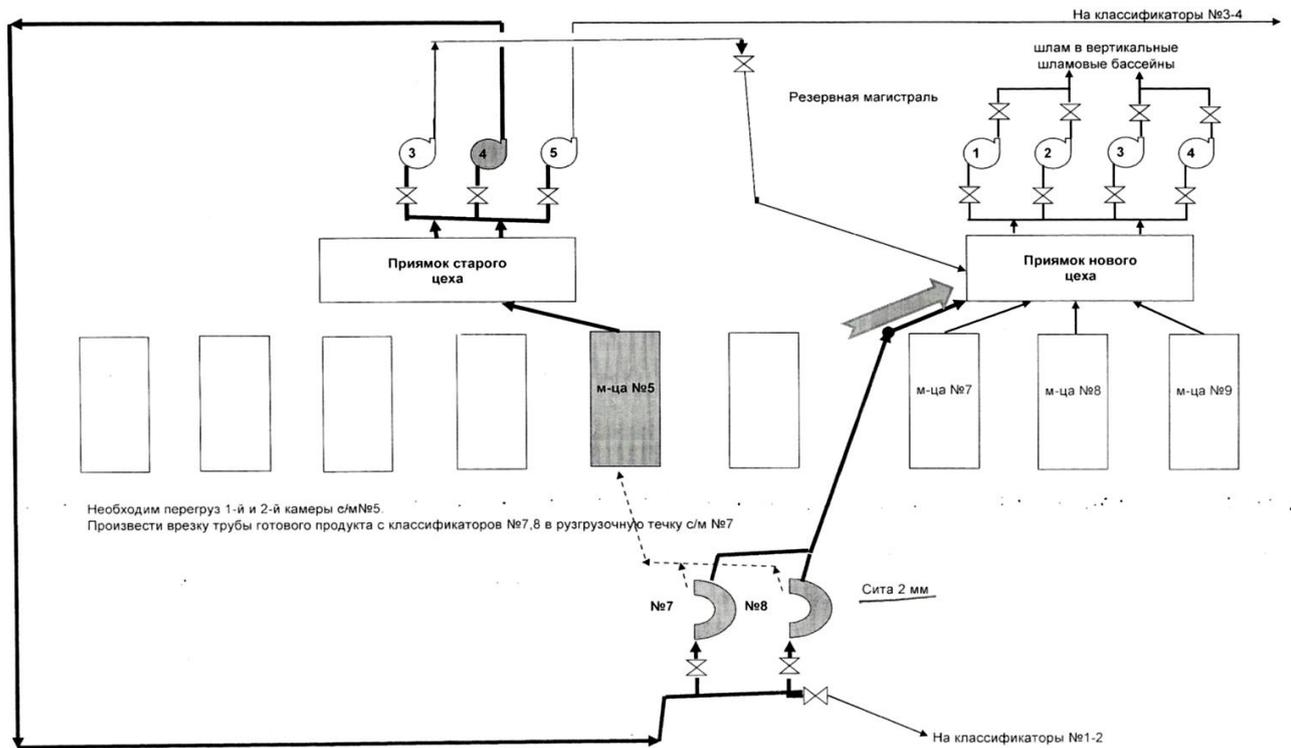


Таблица 19.

Техническая характеристика трубной мельницы

Показатели	Мельница 3,2x15м До реконструкции	Мельница 3,2x15м после реконструкции	
	1	2	3
Размеры корпуса барабана:			
внутренний диаметр мм	3200	3200	
длина мм	15020	15020	
длина 1 и 2 камеры м	7,04/7,79	10/4,83	
Скорость вращения мельницы, об/мин	19	19	
Характеристика главного привода:			
тип электродвигателя	СДМЗ-2-22-41-60	СДМЗ-2-22-41-60	
мощность, кВт	2000	2000	
скорость вращения, об/мин	1000	1000	
напряжение, В	3000/6000	3000/6000	
Общий вес мельницы без мелющих тел и электрооборудования, т	328	328	
Производительность мельницы	85-95	120-136	
Завод-изготовитель	«Волгоцеммаш»	«Волгоцеммаш»	

Таблица 20.

## Техническая характеристика гидроклассификатора

Оборудование	Характеристика оборудования		Перерабатываемый материал	Наименование параметра	Размерность	Номинальное значение		
						До	После	
Гидроклассификатор (классификация груболотового шлама)	Тип	СМЦ-47-1А	Груболотовый шлам	Тонкость помола остаток на сите:02	%	9	24	
	Завод-изготовитель	Сибцемремонт						
	Кол-во	2 шт.						
	Рабочая ширина сетки	450 мм.	Готовый шлам с классификаторов	Тонкость помола:	%	12	35	
	Зазор между колосниками сетки	0,3 мм		Сито008				
	Рабочее давление шлама на выходе	До 3 кгс/см <sup>2</sup>		Сито02				3,5
		Влажность		35				28
			растекаемость	мм	60	55		

Таблица 21.

## Техническая характеристика шламового насоса

Оборудование	Характеристика оборудования		Перерабатываемый материал
	Тип	6ФШ-7А	
Шламовый насос (перекачивание груболотового шлама на классификацию)	Завод-изготовитель	Бобруйский машиностроительный завод им. Ленина	Груболотовый шлам
	Количество	4 шт.	
	Производительность	200 м <sup>3</sup> /ч	
Шламовый насос(перекачивание готового шлама в вертикальные бассейны)	Тип	6ФШ-7А	Шлам
	Завод-изготовитель	Бобруйский машиностроительный завод им. Ленина	
	Количество	4 шт.	
	Производительность	200 м <sup>3</sup> /ч	

## Техническая характеристика дискового питателя

Оборудование (операция)	Характеристика оборудования		Перерабатываемый материал	Наименование параметра	Размерность	Номин. значение
Питатель (дозирование известняка)	Тип	Дисковый, ДТ-25	известняк	Размер кусков	мм	20
	Кол-во	18шт. (по 2шт. на мельнице)				
	Производительность	120 т/ч				
	Диаметр тарелки	2500мм				
	Мощность двигателя	1 кВт				
	Число оборотов тарелки	6,5 об/мин				

### 3. Специальная часть

#### 3.1. Расчет основных параметров мельницы

Производим расчет производительности мельницы по формуле:

$$П = 6,45 \times V \times \sqrt{D} \times \left(\frac{m}{V}\right)^{0,8} \times g \times R_{т/ч}. \quad (3.1.1)$$

где:  $D$  – внутренний диаметр мельницы, м;  $D = 3,02$  м;

$m$  – масса мелющих тел,  $m = 130$  т;

$V$  – полезный объем мельницы,  $m^3$ ;

$g$  – поправочный коэффициент на тонкость помола;

$R$  – удельная производительность, т/кВт ч.

Внутренняя длина барабана (без перегородки)

$$L = L_p - L_n \times z = 15,0 - 0,32 \times 1 = 14,7 \text{ м}. \quad (3.1.2)$$

Толщина межкамерной перегородки:

$$L_n = (0,1 : 0,2) \times D = 0,1 \times 3,2 = 0,32 \text{ м}.$$

Рассчитываем полезный объем мельницы:

$$V = \pi \times R^2 \times L = 3,14 \times 1,41^2 \times 14,7 = 91,77 \text{ м}^3$$

Удельную производительность принимаем 0,05. Поправочный коэффициент на тонкость помола принимаем 2,0:

$$П = 6,45 \times 91,77 \times \sqrt{3,02} \cdot \left(\frac{130}{91,77}\right)^{0,8} \times 2,0 \times 0,05 = 136 \text{ т/ч}.$$

Производим расчет мощности электродвигателя привода мельницы по формуле:

$$N = \frac{2,83 \times G \times R \times n}{\eta} = \frac{2,83 \times 1,42 \times 1,41 \times 10 \times 0,308}{0,94} = 1570 \text{ кВт}.$$

где:  $G$  – масса мелющих тел, т;

$n$  – число оборотов барабана, об/сек;

$R$  – внутренний радиус барабана, м;

$\eta$  – К.П.Д. привода.

Определяем частоту вращения корпуса мельницы.

Находим критическое число оборотов корпуса мельницы по формуле:

$$N_{кр} = \frac{0,5}{\sqrt{R_{св}}} \text{ об/сек.} \quad (3.1.3)$$

где:  $R_{св}$  – радиус «в свету», м.

$$N_{кр} = \frac{0,5}{\sqrt{1,41}} = 0,412 \text{ об/сек} = 24,7 \text{ об/мин.}$$

Находим оптимальное число оборотов корпуса мельницы по формуле:

$$n_{опт} = \frac{0,378}{\sqrt{R_{св}}} \text{ об/сек} \quad (3.1.4)$$

где:  $R_{св}$  – радиус «в свету», м.

$$n_{опт} = \frac{0,378}{\sqrt{1,41}} = 0,318 \text{ об/сек} = 19,0 \text{ об/мин.}$$

#### Кинематический расчет привода мельницы

По рассчитанной мощности 1570 кВт выбираем двигатель марки СДМЗ-2-22-41-60 ( $P_{ном} = 1600$  кВт,  $n = 1000$  мин<sup>-1</sup>). Число оборотов барабана мельницы равняется 19,0 об/мин. Рассчитываем передаточное число редуктора:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{м}} = \frac{1000}{19,0} = 52,6$$

где:  $n_{дв}$  - число оборотов двигателя, об/мин;

$n_{м}$  - число оборотов мельницы. Выбираем редуктор главного привода мельницы А-2400 с передаточным числом  $i = 52,6$

Рассчитываем уточненное число оборотов барабана мельницы.

$$n_{м} = \frac{n_{дв}}{i_p} = \frac{1000}{52,6} = 19,1 \text{ об/мин.}$$

где:  $n_{дв}$  - передаточное число оборотов двигателя, об/мин;

$i_p$  - передаточное число редуктора.

### 3.2. Расчет корпуса мельницы на прочность

Основные детали мельницы помимо больших, циклически действующих, изгибающих и скручивающих нагрузок, вызываемых силой тяжести и центробежной силой вращающихся частей, мелющих тел и материала, подвергаются также непрерывным ударно-вибрационным воздействиям. Характер нагрузок учитывается при выборе коэффициента запаса прочности, марки материала и пр.

Основной задачей расчета корпуса мельницы на прочность является выбор толщины стенок барабана. При этом средняя нагруженная часть мельницы рассматривается как балка кольцевого сечения, лежащая на двух опорах и подвергаемая действию равномерно распределенной нагрузки и сосредоточенных сил.

В таблице 23 приведены исходные данные для расчета.

Таблица 23.

Исходные данные для расчета

№ п/п	Параметры механического расчета	Величина
1	2	3
1	Корпус мельницы	сварной
2	Материал корпуса	Ст09Г2С
3	Угловая скорость вращения мельницы, n, об/мин, $\omega$ , с <sup>-1</sup> ; $\omega = 0,104 \cdot n$	17,0 $\omega = 0,104 \cdot 17 = 1,768$
4	Предел прочности стали при растяжении, $\sigma_B$ , МПа	380 – 520
5	Предел текучести стали, $\sigma_T$ , МПа	230
6	Вес загрузочной части, $G_{з.ч.}$ , т	22,5
7	Вес питателя, $G_{п.}$ , т	3,2
8	Вес футеровки с болтами: на длине I камеры, $G_{ф1}$ , т на длине II камеры, $G_{ф2}$ , т	31,20 23,04
9	Вес межкамерной перегородки, $G_{р.}$ , т	9,0
10	Вес разгрузочной части, $G_{р.ч.}$ , т	18,95
11	Вес сита и разгрузочного патрубка, $G_{рп.}$ , т	6,5
12	Вес муфты, $G_{м.}$ , т	3,84

13	Вес половины промежуточного вала, $G_{пв}$ т	4,25
14	Длина барабана мельницы, $L_б$ , м	15,02
15	Расстояние между осями подшипников, $L_0$ , м	17,512
16	Длина I камеры, $L_1$ , м	7,04

На детали мельницы действует внешняя нагрузка  $F$ , включающая силу тяжести  $G$  вращающихся частей, а также центробежную силу  $P_{ц}$  вращающихся мелющих тел и измельчаемого материала:

$$G = 1,14 \cdot G_{мт} + G_p + G_{ф1} + G_{ф2} + G_{з.ч.} + G_{р.ч} + G_{рп} + G_m + G_{пв}, \text{ кН} \quad (3.2.1.)$$

где  $G_{мт}$  – вес мелющих тел,  $G_{мт} = 1400$  кН.

$$G = 1,14 \cdot 1400 + 90 + 312 + 230,4 + 225 + 189,5 + 65 + 38,4 + 42,5 = 2790 \text{ кН}$$

Уравновешенные массы мелющих тел и материала создают пульсирующую и дополнительную центробежную силу  $F$ :

$$P_{ц} = 0,23 \cdot G_{мт}, \text{ кН} \quad (3.2.2.)$$

$$P_{ц} = 0,23 \cdot 1400 = 322 \text{ кН}$$

Направление центробежной силы совпадает с радиусом барабана, проходящим через центр тяжести вращающейся массы. Угол, составленный этим направлением и направлением силы тяжести (т.е. вертикальной), равен  $60^\circ$  (см. рис. 3).

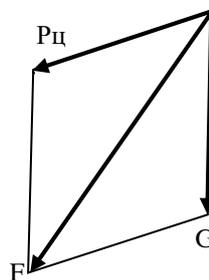


Рис. 3. Схема для определения равнодействующей силы ( $F$ )

Равнодействующая сила  $F$  составляющих  $G_{мт}$  и  $P_{ц}$  равна:

$$F = \sqrt{G_{MT}^2 + P_{ц}^2} + 2 \cdot G_{MT} \cdot P_{ц} \cdot \sin 30^\circ, \text{ кН}$$

$$F = \sqrt{1400^2 + 322^2} + 2 \times 1400 \times 322 \times 0,5 = 1590 \text{ кН}$$

Найдем угол наклона равнодействующей силы F к вертикали:

$$\frac{F}{\sin 120^\circ} = \frac{P_{ц}}{\sin \varphi} \quad (3.2.3.)$$

$$\sin \varphi = \frac{P_{ц} \cdot \sin 120^\circ}{F}$$

$$\sin \varphi = \frac{322 \times 0,866}{1590} = 0,175$$

$$\varphi = 10^\circ 10'$$

Определим вертикальную  $F_B$  и горизонтальную  $F_T$  составляющие равнодействующей силы F:

$$F_T = F \times \sin \varphi,$$

$$F_T = 1590 \times 0,175 = 278 \text{ кН}$$

$$F_B = F \cdot \cos \varphi, \text{ кН} \quad (3.2.4.)$$

$$F_B = 1590 \cdot 0,985 = 1570 \text{ кН}$$

Вертикальная составляющая равномерно распределяется по длине барабана:

$$q_1^E = \frac{F_B}{L} \quad (3.2.5)$$

$$q_1^E = \frac{1570}{14,02} = 105 \text{ кН/м}$$

Интенсивность распределения нагрузки от веса барабана и межкамерной перегородки по его длине:

$$q_1^G = \frac{G_6 + G_p}{L}, \text{ кН/м} \quad (3.2.6.)$$

$$G_6 = 597 \text{ кН}$$

$$q_1^6 = \frac{597 + 90}{14.02} = 45,7 \text{ кН/м}$$

Интенсивность распределения нагрузки от веса футеровки с болтами по длине I камеры:

$$q_1^{\phi} = \frac{G_{\phi 1}}{L_1}, \text{ кН/м} \quad (3.2.7.)$$

$$q_1^{\phi} = \frac{312}{6,760} = 43 \text{ кН/м}$$

Интенсивность распределения нагрузки от веса футеровки с болтами по длине II камеры:

$$q_2^{\phi 2} = \frac{G_{\phi 2}}{L_2}, \text{ кН/м} \quad (3.2.8.)$$

$$q_2^{\phi 2} = \frac{230,4}{7,260} = 29,7 \text{ кН/м}$$

Итак, по длине I камеры действует равномерно распределенная нагрузка:

$$q_I^B = q_1^B + q_1^6 + q_1^{\phi}, \text{ кН/м} \quad (3.2.9.)$$

$$q_I^B = 105 + 45,7 + 43 = 193,7 \text{ кН/м}$$

по длине II камеры действует равномерно распределенная нагрузка:

$$q_{II}^B = q_1^B + q_1^6 + q_2^{\phi 2}, \text{ кН/м} \quad (3.2.10.)$$

$$q_{II}^B = 105 + 45,7 + 29,7 = 180,4 \text{ кН/м}$$

Со стороны привода на корпус действуют три силы: от веса разгрузочного патрубка с ситом -  $G_{рп}$ , от веса муфты -  $G_M$  и от веса половины вала -  $G_{пв}$ . Произведем замену этих сил одной силой  $G_K$  и определим точку приложения этой силы (рис. 4).

$$G_{рп} \times a_1 + G_M \times a_2 + G_{пв} \times a_3 = G_K \times x_8$$

$$x_8 = \frac{G_{рп} \times a_1 + G_M \times a_2 + G_{пв} \times a_3}{G_K}, \text{ м}$$

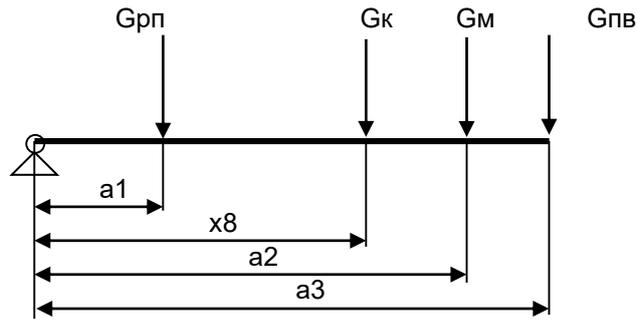


Рис.4. Схема для определения точки приложения силы  $G_k$

$$G_k = G_{рп} + G_m + G_{пв} , \text{кН} \quad (3.2.11)$$

$$G_k = 65 + 38,4 + 42,5 = 146 \text{ кН}$$

$$x_8 = \frac{65 \times 1,63 + 38,4 \times 3,4 + 42,5 \times 5,1}{146} = 3,1 \text{ м}$$

По действующим силам определяем реакции в опорах  $R_A^B$  и  $R_B^B$ .

Для условий равновесия имеем  $\sum M_A^B = 0$ . Следовательно,

$$G_k \sum_{x_8} x_i - R_B^B \sum_{x_7} x_i + G_{рч} \sum_{x_6} x_i + q_{II}^B \sum_{x_4+0,5x_5} x_i \times x_5 + q_I^B \sum_{x_3+0,5x_4} x_i \times x_4 + G_{зч} \times x_2 - G_{II} \times x_1 = 0$$

Отсюда определяем реакцию опоры разгрузочного конца мельницы  $R_B^B$ .

$$R_B^B = \frac{146 \times 20,612 + 189,5 \times 16,612 + 180,4 \times 7,26 \times 12,386 + 193,7 \times 6,76 \times 4,876 + 225 \times 0,9 - 32 \times 1,1}{17,512} = 1740 \text{ кН}$$

Аналогично имеем  $\sum M_B^B = 0$ .

$$G_{II} \sum_{x_1} x_i - R_A^B \sum_{x_2} x_i + G_{зч} \sum_{x_3} x_i + q_I^B \sum_{x_5+0,5x_4} x_i \cdot x_4 + q_{II}^B \sum_{x_6+0,5x_5} x_i \cdot x_5 + G_{рч} \cdot x_7 - G_k \cdot x_8 = 0$$

Отсюда определяется реакция опоры загрузочного конца мельницы  $R_A^B$  и строится эпюра перерезывающих сил  $Q_{пер}$  (рис. 5).

$$R_A^B = \frac{32 \times 18,612 + 225 \times 16,612 + 193,7 \times 6,76 \times 12,636 + 180,4 \times 7,26 \times 5,126 + 189,5 \times 0,9 - 146 \times 3,1}{17,512} = \frac{1650}{17,512} = 1650 \text{ кН}$$

Для построения эпюры изгибающих моментов  $M_{изг}$  необходимо определить моменты в сечениях 1 – 8

$$M_1 = -G_{II} \times x_1, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_1 = -32 \times 1,1 = -35,2 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_2 = -G_{II} \times (x_1 + x_2) + R_A^B \times x_2, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_2 = -32 \times (1,1 + 0,9) + 1650 \times 0,9 = 1425 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_3 = -G_{II} \times (x_1 + x_2 + x_3) + R_A^B \times (x_2 + x_3) - G_{III} \times x_3, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_3 = -32 \times (1,1 + 0,9 + 0,346) + 1650 \times (0,9 + 0,346) - 225 \times 0,346 = 1903 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_4 = -G_{II} \sum_{x_1}^{x_4} x_i + R_A^B \times (x_2 + x_3 + x_4) - G_{III} (x_3 + x_4) - q_I^B \frac{x_4^2}{2}, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_4 = -32 \times 9,606 + 1650 \times 8,506 - 225 \times 7,606 - 193,7 \times \frac{6,76^2}{2} = 6920 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_5 = -G_K \times x_8, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_5 = -146 \times 3,1 = -453 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_6 = -G_K \times (x_8 + x_7) + R_B^B \times x_7, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_6 = -146 \times (3,1 + 0,9) + 1740 \times 0,9 = 982 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_7 = -G_K \times (x_8 + x_7 + x_6) + R_B^B \times (x_7 + x_6) - G_{IV} \times x_6, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_7 = -146 \times (3,1 + 0,9 + 0,346) + 1740 \times (0,9 + 0,346) - 189,5 \times 0,346 = 1470 \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_8 = -G_K \sum_{x_5}^{x_8} x_i + R_B^B \times (x_7 + x_6 + x_5) - G_{IV} (x_6 + x_5) - q_{II}^B \frac{x_5^2}{2}, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_8 = -146 \times 12,106 + 1740 \times 9,006 - 189,5 \times 8,106 - 180,4 \times \frac{7,26^2}{2} = 6920 \text{ кН} \times \text{м}$$

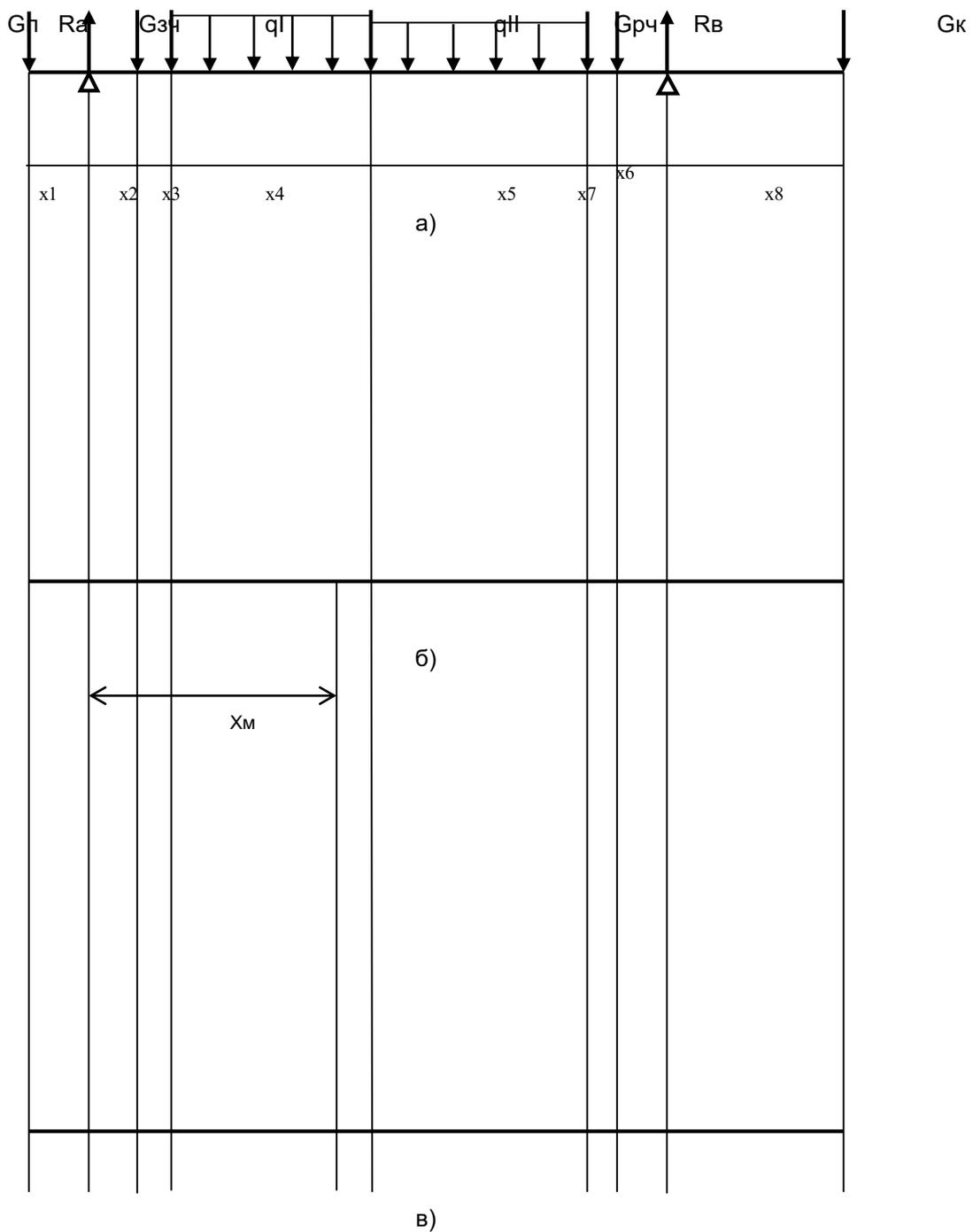


Рис. 5. Эпюры:

- а) распределения нагрузок;
- б) перерезывающих сил;
- в) изгибающих моментов.

Силы тяжести:

$G_{п}$  - питателя;

$G_{зч}$  - загрузочной части;

$G_{рч}$  - разгрузочной части;

$G_k$  - разгрузочного патрубка, муфты и половины пром.вала;

$R$  - реакции опор;

$q_I$  и  $q_{II}$  - равномерно распределенные нагрузки от силы тяжести барабана, мелющих тел и футеровки соответственно в первой и второй камерах.

Определим сечение с максимальным изгибающим моментом. Ориентируясь на эпюру перерезывающих сил, определяем положение сечения с максимальным изгибающим моментом  $M_{\max}^B$ . При этом  $Q_{\text{пер}} = 0$ .

Обозначим расстояние от точки  $A$  до этого сечения через  $x_M$  и составим общее уравнение моментов относительно  $x_M$ :

$$- G_{II} \cdot (x_1 + x_M) + R_A^B \times x_M - G_{зч} \times (x_M - x_2) - q_I^B \frac{(x_M - x_2 - x_3)^2}{2} = M_{\max}^B$$

Кроме того  $M_{\max}^B$  будет находиться в сечении, для которого производная от изгибающего момента по длине будет равна нулю.  $M_x' = 0$ .

$$x_M = \frac{- G_{II} + R_A^B - G_{зч} - q_I^B \times x_1}{q_I^B}, \text{ м} \quad (3.2.12.)$$

$$x_M = \frac{- 32 + 1650 - 225 + 193,7 \times 1,1}{193,7} = 8,3 \text{ м}$$

$$M_{\max}^B = - 32 \times (1,1 + 8,3) + 1650 \times 8,3 - 225 \times (8,3 - 0,9) - 193,7 \times \frac{(8,3 - 1,246)^2}{2} = 6924 \text{ кН} \times \text{м}$$

Определяем максимальный изгибающий момент  $M_{\max}^{\Gamma}$  в горизонтальной плоскости при равномерно распределенной нагрузке (рис. 6):

$$q^{\Gamma} = \frac{F_{\text{гор}}}{L_6} \quad (3.2.13)$$

$$q^{\Gamma} = \frac{278}{14,02} = 18,5 \text{ кН/м}$$

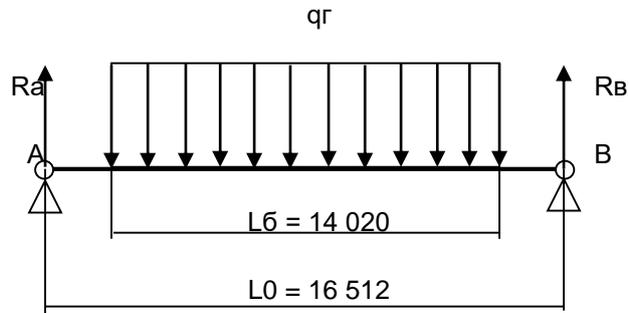


Рис. 6. Схема действия равномерно распределенной нагрузки по длине барабана

Найдем горизонтальные составляющие опорных реакций  $R_A^\Gamma$  и  $R_B^\Gamma$

Для условия равновесия имеем  $\Sigma M_A = 0$ ;  $R_B^\Gamma = R_A^\Gamma$

$$R_B^\Gamma \times L_0 - q^\Gamma \times L_6 \frac{L_0}{2} = 0$$

Отсюда определяем  $R_B^\Gamma$ :

$$R_B^\Gamma = \frac{18,5 \cdot 14,02 \cdot 8,756}{16,512} = 140 \text{ кН} \quad ; \quad R_A^\Gamma = 140 \text{ кН}$$

Максимальный изгибающий момент  $M_{\max}^\Gamma$  от действия горизонтальных составляющих реакций будет наблюдаться в середине мельницы:

$$M_{\max}^\Gamma = R_B^\Gamma \times \frac{L_0}{2} - q^\Gamma \times \frac{L_6^2}{4}, \text{ кН} \times \text{м} \quad (3.2.14)$$

$$M_{\max}^\Gamma = 140 \times \frac{16,512}{2} - 18,5 \times \frac{14,020^2}{4} = 183 \text{ кН} \times \text{м}$$

Результативные опорные реакции:

$$R_B = \sqrt{(R_{B_E})^2 + (R_{B_\Gamma})^2}, \text{ кН} \quad (3.2.15)$$

$$R_B = \sqrt{(1740)^2 + (140)^2} = 1750 \text{ кН}$$

$$R_A = \sqrt{(R_{A_E} + R_{A_\Gamma})^2}, \text{ кН} \quad (3.2.16)$$

$$R_A = \sqrt{(1650)^2} + \sqrt{(140)^2} = 1660 \text{ кН}$$

Крутящий момент определяется по формуле:

$$M_{кр} = \frac{7,162 \times N \times \eta}{n}, \text{ кН} \times \text{м} \quad (3.2.17)$$

где  $N$  - мощность электродвигателя,  $N = 2000$  кВт;

$n$  - скорость вращения мельницы,  $n = 17,0$  об/мин

$\eta$  - коэффициент, учитывающий потери мощности на участке вал электродвигателя – вал мельницы,  $\eta = 0,9$ .

$$M_{кр} = \frac{7,162 \times 2000 \times 0,9}{17,0} = 758 \text{ кН} \times \text{м}$$

Приведенный момент от действия крутящего момента  $M_{кр}$ , изгибающего момента в вертикальной плоскости  $M_{max}^B$  и изгибающего момента в горизонтальной плоскости  $M_{max}^Г$  составит:

$$M_{пр} = \sqrt{(M_{max}^B)^2 + (M_{max}^Г)^2 + M_{кр}^2}, \text{ кН} \times \text{м} \quad (3.2.18)$$

$$M_{пр} = \sqrt{6924^2 + 183^2 + 758^2} = 6970 \text{ кН} \times \text{м}$$

Момент сопротивления корпуса барабана определяем по формуле:

$$W = \pi \times S \times R^2 \times k, \text{ см}^3 \quad (3.2.19)$$

где  $S$  - толщина стенки корпуса,  $S = 4,5$  см;

$R$  - наружный радиус корпуса,  $R = 164,5$  см;

$k$  - коэффициент, учитывающий ослабление барабана болтовыми отверстиями и люками,  $k = 0,8$ .

$$W = 3,14 \times 4,5 \times 164,5^2 \times 0,8 = 305\,889 \text{ см}^3$$

Напряжение в наиболее опасном сечении корпуса:

$$\sigma = \frac{M_{\text{пр}}}{W}, \text{ МПа} \quad (3.2.20)$$

$$\sigma = \frac{6970}{305,889} = 22,8 \text{ МПа}$$

Определяем допускаемое напряжение для корпуса мельницы:

материал корпуса – сталь Ст09Г2С,

предел прочности стали при растяжении –  $\sigma_b = 380 - 520$  МПа

предел текучести стали –  $\sigma_T = 230$  МПа.

Так как барабан мельницы работает при знакопеременной нагрузке, то предел выносливости при изменении напряжений от минимума до максимума составит:

$$\sigma_1 = \frac{1}{3} \sigma_b, \text{ МПа} \quad (3.2.21)$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{3} \times 380 = 126,7 \text{ МПа}$$

Напряжения будут меняться за каждый оборот мельницы. Принимаем запас прочности с учетом концентрации напряжений в углах люков  $n = 3,5$ .

Напряжение, возникающее в корпусе, будет находиться в допустимых пределах, если  $[\sigma] > \sigma$

$$[\sigma] = \sigma_1 / n, \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = 126,7 / 3,5 = 36,2 \text{ МПа}$$

**$[\sigma] = 36,2 \text{ МПа} > \sigma = 22,8 \text{ МПа}$**  – условие выполнено.

### 3.3. Расчёт болтов, соединяющий фланец барабана с крышкой

Наиболее нагружены болты, соединяющие фланец барабана с разгрузочной крышкой. Болты срезаются силами веса вращающейся части мельницы, центробежной силой и окружным усилием, передаваемым от двигателя на крышку и направленным по касательной к окружности, на которой расположены оси болтов.

Перерезывающая сила в плоскости соединения фланца с крышкой из эпюры перерезывающих сил равна  $P_1 = 982$  кН.

Сила среза, возникающая в результате действия окружного усилия:

$$P_2 = \frac{M_{кр}}{r_6}, \text{ кН} \quad (3.3.1)$$

где  $r_6$  – радиус окружности, по которой расположены соединительные болты,  $r_6 = 1,73$  м.

$$P_2 = \frac{758}{1,73} = 438 \text{ кН}$$

Наибольшая величина равнодействующей силы, срезающей болты, составит:

$$P = P_1 + P_2 \text{ кН} \quad (3.3.2)$$

$$P = P_1 + P_2 = 982 + 438 = 1420 \text{ кН}$$

Напряжение в болтах от среза силой  $P$  составит:

$$\sigma_{ср} = \frac{P}{0,785 \times m \times d_6^2}, \text{ МПа} \quad (3.3.3)$$

где  $m$  – количество болтов,  $m = 24$  шт.;

$d_6$  – диаметр болта,  $d_6 = 5,8$  см.

$$\sigma_{ср} = \frac{1420}{0,785 \times 24 \times 0,058^2 \times 10^3} = 22,4 \text{ МПа}$$

Обычно допускаемое напряжение среза  
 $[\tau_{ср}] = (0,2 \div 0,3) \sigma_T$

Для Ст 3 предел текучести -  $\sigma_T = 240$  МПа.

$$[\tau_{ср}] = 0,2 \times 240 = 48,0 \text{ МПа}$$

Выбранный диаметр болтов будет удовлетворять при условии

$$[\tau_{ср}] > \sigma_{ср}$$

$$[\tau_{ср}] = 48,0 \text{ МПа} > \sigma_{ср} = 22,4 \text{ МПа} \text{ — условие выполнено.}$$

### 3.4. Расчет болтов на усилие затяжки

Опорная реакция  $R_A(R_B)$  стремится повернуть торцовую крышку мельницы относительно верхней точки контакта фланцев крышки и корпуса. Болты, крепящие крышку, работают на растяжение.

Растягивающее усилие  $F$ , действующее на болты, определяем из следующего уравнения (рис. 7):

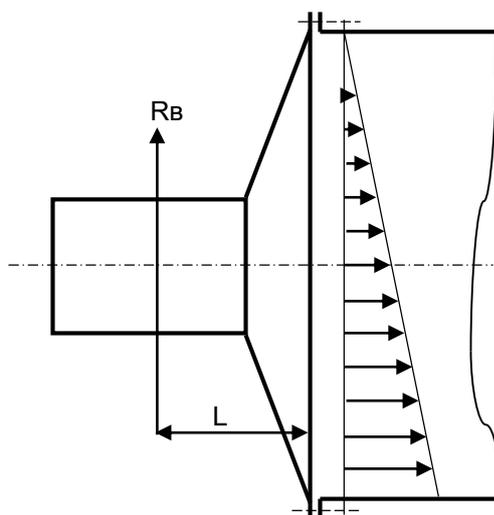


Рис. 7. Схема к расчету усилия затяжки в сопряжении днища с барабаном.

$$R_B \times l = F \times \frac{D}{2}, \quad (3.4.1)$$

где  $R_B$  – реакция опоры, т;

$l$  - расстояние от оси подшипника до плоскости разъема,  $l = 1,246$  м.

Отсюда:

$$F = \frac{R_B \times l}{r}, \text{ кН} \quad (3.4.2)$$

где  $r$  – радиус окружности, по которой расположены болты,  $r = 1,73$  м.

Если принять, что нагрузку воспринимают  $\frac{3}{4}$  всех болтов, то средняя нагрузка на один болт составит:

$$F = \frac{4 \times R_B \times l}{3 \times m \times r}, \text{ кН} \quad (3.4.3)$$

где  $m$  – количество болтов,  $m = 24$  шт.

$$F = \frac{4 \times 1750 \times 1,246}{3 \times 24 \times 1,73} = 70 \text{ кН}$$

Наибольшая нагрузка на болты будет в момент прохождения их крайнего нижнего положения:

$$P = 2 \times F, \text{ кН} \quad (3.4.4)$$

$$P = 2 \times 70 = 140 \text{ кН}$$

Напряжение затяжки болтов:

$$\sigma_3 = (0,4 \div 0,5) \sigma_T, \text{ МПа}$$

Для Ст 3 предел текучести -  $\sigma_T = 240$  МПа.

$$\sigma_3 = 0,45 \times 240 = 108 \text{ МПа}$$

Усилие затяжки болтов:

$$T = \sigma_3 \times F_1, \text{ кН} \quad (3.4.5)$$

$$F_1 = 0,785 \times d_{\text{бн}}^2, \text{ см}^2$$

где  $F_1$  – площадь поперечного сечения нарезанной части болта,  $\text{м}^2$ ;

$d_{\text{бн}}$  - диаметр нарезанной части болта,  $d_{\text{бн}} = 4,88$  см.

$$F_1 = 0,785 \times 4,88^2 = 18,69 \text{ см}^2$$

$$T = 1080 \times 18,69 = 201,85 \text{ кН}$$

Расчетная нагрузка:

$$Q = T + X \times P \quad (3.4.6)$$

где  $X$  – коэффициент основной нагрузки, отражающий упругие свойства соединяемых деталей и болта,  $X = 0,2 \div 0,3$ .

$$Q = T + X \cdot P = 201,85 + 0,25 \cdot 140 = 236,85 \text{ кН}$$

Растягивающее напряжение в нарезанной части болта:

$$\sigma_1 = \frac{Q}{F_1}, \text{ МПа} \quad (3.4.7)$$

$$\sigma_1 = \frac{23\ 685}{18,69} = 126,7 \text{ МПа}$$

Растягивающее напряжение в стержне болта:

$$\sigma_c = \frac{Q}{0,785 \times d_6^2}, \text{ МПа} \quad (3.4.8)$$

$$\sigma_c = \frac{23\ 685}{0,785 \times 5,8^2} = 89,7 \text{ МПа}$$

Момент, необходимый для закручивания болта при затяжке:

$$M_{кр} = k \times T \times d_6, \text{ кг} \times \text{см} \quad (3.4.9)$$

$k = 0,12$

$$M_{кр} = 0,12 \times 20\ 185 \times 5,8 = 14\ 049 \text{ кг} \times \text{см}$$

Наибольшее касательное напряжение в нарезанной части болта:

$$\tau_1 = \frac{M_{кр}}{0,2 \times d_{6н}^3}, \text{ МПа} \quad (3.4.10)$$

$$\tau_1 = \frac{14\ 049}{0,2 \cdot 4,88^3} = 60,5 \text{ МПа}$$

Наибольшее касательное напряжение в стержне болта:

$$\tau_c = \frac{M_{кр}}{0,2 \times d_6^3} \text{ МПа} \quad (3.4.11)$$

$$\tau_c = \frac{14\,049}{0,2 \times 5,8^3} = 36,0 \text{ МПа}$$

Наибольшее приведенное напряжение в нарезанной части болта:

$$\sigma_{1пр} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3 \times \tau_1^2}, \text{ МПа} \quad (3.4.12)$$

$$\sigma_{1пр} = \sqrt{126,7^2 + 3 \times 60,5^2} = 164,4 \text{ МПа}$$

Наибольшее приведенное напряжение в стержне болта:

$$\sigma_{с пр} = \sqrt{\sigma_c^2 + 3 \times \tau_c^2}, \text{ МПа} \quad (3.4.13)$$

$$\sigma_{с пр} = \sqrt{89,7^2 + 3 \times 36,0^2} = 109,2 \text{ МПа}$$

Запас прочности по пластическим деформациям в нарезанной части болта:

$$П_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{1пр}} \quad (3.4.14)$$

$$П_{T1} = \frac{240,0}{164,4} = 1,5$$

Запас прочности по пластическим деформациям в стержне болта:

$$П_{Tc} = \frac{\sigma_T}{\sigma_{с пр}} \quad (3.4.15)$$

$$П_{Tc} = \frac{240,0}{109,2} = 2,2$$

Обычные значения  $П_T = 1,3 \div 2,5$ .

Запас статической прочности в нарезанной части болта:

$$\Pi_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_{1пр}}$$

Предел прочности материала болта -  $\sigma_B = 3800 \text{ кг/см}^2$ .

$$\Pi_{B1} = \frac{380,0}{164,4} = 2,3$$

Запас прочности по пластическим деформациям в стержне болта:

$$\Pi_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_{с пр}}$$

$$\Pi_{Bc} = \frac{380,0}{109,2} = 3,5$$

Обычные значения  $\Pi_B = 2,3 \div 4,0$ .

Так как соединение работает при переменной нагрузке, необходимо проверить переменное напряжение цикла:

$$\sigma_a = \frac{X \times P}{2 \times F_1}, \text{ МПа} \quad (3.4.16)$$

$$\sigma_a = \frac{0,25 \times 14000}{2 \times 18,69} = 9,36 \text{ МПа}$$

Среднее напряжение цикла:

$$\sigma_T = \sigma_3 + \sigma_a, \text{ МПа} \quad (3.4.17)$$

$$\sigma_T = 108,0 + 9,36 = 117,4 \text{ МПа}$$

Предел выносливости резьбовой детали:

$$\sigma_{-1(\sigma)} = \frac{\sigma_{-1}}{K_\sigma}, \text{ МПа} \quad (3.4.18)$$

где  $K_\sigma = 3,5 \div 5,0$ ;

$\sigma_{-1}$  - предел выносливости для Ст. 3,  $\sigma_{-1} = 180,0 \text{ МПа}$ .

$$\sigma_{-1(6)} = \frac{180,0}{4,5} = 40,0 \text{ МПа}$$

Запас прочности по переменным напряжениям:

$$\Pi_a = \frac{\sigma_{-1(6)} \times (1 - \sigma_T / \sigma_B)}{\sigma_a}$$

$$\Pi_a = \frac{40,0 \times (1 - 117,4 / 380,0)}{9,36} = 3,0$$

$$\Pi_a = 3 < [\Pi_a] = 2,5 \div 5,0$$

Проверочный расчет показывает, что болты работают с запасом прочности при переменной нагрузке и запас прочности по пластическим деформациям и статической прочности лежит в рекомендуемых пределах.

### 3.5. Расчет цапфы мельницы

Наиболее опасным сечением торцевых днищ мельницы является переход цилиндрической части (цапфы) в коническую, где могут быть скрытые литейные дефекты (рис. 7).

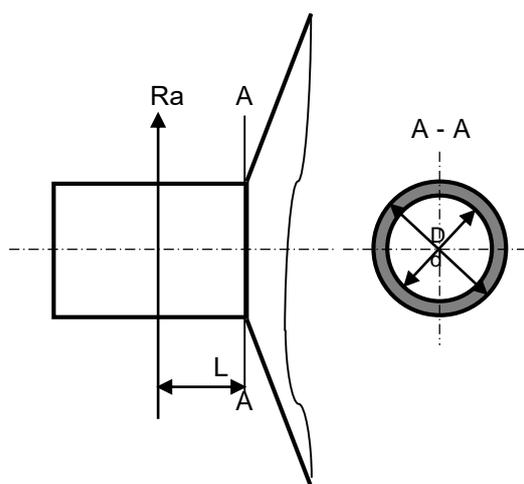


Рис. 7. Схема к расчету опасного сечения цапфы

Поэтому в данном сечении допускаемое напряжение

$$\sigma_{\text{доп}} < 10 \text{ МПа}$$

Изгибающий момент в опасном сечении:

$$M_{\text{изг}} = R_A \times l, \text{ кН} \times \text{м}$$

$$M_{\text{изг}} = 1660 \times 0,9 = 1494 \text{ кН} \times \text{м}$$

Приведенный момент:

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_{\text{кр}}^2}, \text{ кН} \times \text{м} \quad (3.5.1)$$

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{1494^2 + 758^2} = 1675 \text{ кН} \times \text{м}$$

Момент сопротивления опасного сечения изгибу:

$$W_A = \frac{R_H^4 - R_B^4}{R_H}, \text{ см}^3 \quad (3.5.2)$$

где  $R_H$  – наружный радиус цапфы,  $R_H = 70$  см;

$R_B$  - внутренний радиус цапфы,  $R_B = 54,25$  см.

$$W_A = \frac{70^4 - 54,25^4}{70} = 219\,263 \text{ см}^3$$

Напряжение в опасном сечении:

$$\sigma_A = \frac{M_{\text{пр}}}{W_A}, \text{ МПа} \quad (3.5.3)$$

$$\sigma_A = \frac{16\,750\,000}{219\,263} = 76 \text{ кг/см}^2 = 7,6 \text{ МПа}$$

$$\sigma_A = 7,6 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{доп}}] = 10 \text{ МПа}$$

Напряжение в загрузочном патрубке, ослабленном отверстиями для прохода измельченного материала, возникают под влиянием силы тяжести разгрузочного патрубка (рис. 8)  $G_{\text{рп}}$ , муфты  $G_{\text{м}}$  и половины вала  $G_{\text{пв}}$ .

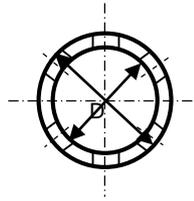


Рис. 8. Поперечный разрез разгрузочного патрубка.

Изгибающий момент:

$$M_{\text{изг}} = G_{\text{к}} \times x_8, \text{ кН} \times \text{м} \quad (3.5.4)$$

$$M_{\text{изг}} = 145,9 \times 3,1 = 452 \text{ кН} \times \text{м}$$

Приведенный момент:

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_{\text{кр}}^2}, \text{ кН} \times \text{м} \quad (3.5.5)$$

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{452^2 + 758^2} = 880 \text{ кН} \times \text{м}$$

Момент сопротивления кольцевого сечения патрубка, ослабленного шестью отверстиями  $l \approx 550 \text{ мм}$ .

Площадь одного отверстия:

$$F_{\text{отв}} = 5,5 \times 0,825 = 4,54 \text{ дм}^2$$

Для шести отверстий (м):

$$F_{\text{отв}}^6 = m \times F_{\text{отв}}, \text{ дм}^2 \quad (3.5.6)$$

$$F_{\text{отв}}^6 = 6 \times 4,54 = 27,2 \text{ дм}^2$$

Общая площадь кольца:

$$F_{\text{кольца}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{н}}^2 - D_{\text{в}}^2), \text{ дм}^2 \quad (3.5.7)$$

где  $D_{\text{н}}$  – наружный диаметр разгрузочного патрубка,  $D_{\text{н}} = 13,1 \text{ дм}$ ;

$D_{\text{в}}$  – внутренний диаметр патрубка,  $D_{\text{в}} = 11,0 \text{ дм}$ .

$$F_{\text{кольца}} = 0,785 \times (13,1^2 - 11,0^2) = 39,7 \text{ дм}^2$$

$F_{\text{отв}}^6$  составляют от общей площади кольца:

$$\frac{F_{\text{отв}}^6 \times 100}{F_{\text{кольца}}}, \%$$

$$\frac{27,2 \times 100}{39,7} = 68,5 \%$$

Тогда момент сопротивления кольцевого сечения с учетом ослабления шестью отверстиями составит:

$$W = W_B \times 0,315, \text{ см}^3 \quad (3.5.8)$$

$$W_B = \frac{\pi}{4} \times \frac{R_H^4 - R_B^4}{R_H}, \text{ см}^3 \quad (3.5.9)$$

$$W_B = 0,785 \times \frac{65,5^4 - 55^4}{65,5} = 110\,926 \text{ см}^3$$

$$W = 110\,926 \times 0,315 = 34\,942 \text{ см}^3$$

Напряжение от приведенного момента составит:

$$\sigma_B = \frac{M_{\text{пр}}}{W}, \text{ МПа} \quad (3.5.10)$$

$$\sigma_B = \frac{8\,800\,000}{34\,942} = 252 \text{ кг/см}^2 = 25,2 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 35Л, из которой отливается патрубок:

$$\sigma_B < [\sigma] = \frac{\sigma_{-1}}{n}, \text{ МПа}$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \times \sigma_B, \text{ МПа}$$

где  $\sigma_B = 500,0 \text{ МПа}$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \times 500,0 = 215,0 \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = \frac{215,0}{5} = 43,0 \text{ МПа}$$

$$\sigma_B = 25,2 \text{ кг/см}^2 < [\sigma] = 43,0 \text{ кг/см}^2$$

### 3.6. Расчет подшипника

Проверка подшипника проводится по величине произведения:

$$W = P \times v \quad (3.6.1)$$

где  $P$  – удельное давление, МПа;

$v$  - окружная скорость цапфы, м/сек.

Удельное давление для наиболее нагруженного подшипника:

$$P = \frac{R_B}{F}, \text{ МПа} \quad (3.6.2)$$

где  $R_B$  – реакция подшипника, кг;

$F$  – площадь проекции цапфы,  $\text{см}^2$ ,

$$F = D \times L, \text{ см}^2 \quad (3.6.3)$$

где  $D$  – диаметр цапфы,  $D = 140$  см;

$L$  - длина опорной поверхности цапфы,  $L = 115$  см.

$$F = 140 \times 115 = 16\,100 \text{ см}^2$$

$$P = \frac{175\,000}{16\,100} = 10,9 \text{ кг/см}^2 = 1,09 \text{ МПа}$$

Окружная скорость:

$$v = \frac{\pi \times D \times n}{30} \quad (3.6.4)$$

где  $n$  – угловая скорость мельницы,  $n = 17$  об/мин.

$$v = \frac{3,14 \times 1,4 \times 17}{60} = 1,25 \text{ м/сек}$$

$$W = 10,9 \times 1,25 = 13,6 \frac{\text{кг} \times \text{м}}{\text{см}^2 \times \text{сек}} = 1,36 \text{ МПа} \times \text{м/с}$$

Полученное значение  $P \times v$  не должно превышать допустимого значения для баббита

$$P \times v < [P \times v] = 6 \text{ МПа} \times \text{м/с}$$

$$P \times v = 1,36 < [P \times v] = 6 \text{ МПа} \times \text{м/с}$$

Удлинение корпуса мельницы при нагреве:

$$\Delta L = \alpha \times \Delta t \times L, \text{ мм}$$

где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения стали,

$$\alpha = 0,0000115 \times 1/\text{К};$$

$\Delta t$  – разность температур корпуса,  $\Delta t = 393 \div 423 \text{ К};$

$L$  – длина корпуса,  $L = 15020 \text{ мм}.$

$$\Delta L = 0,0000115 \times 130 \times 15020 = 22 \text{ мм}$$

### 3.7. Расчет мощности электродвигателя

Мощность электродвигателя мельницы складывается из двух мощностей:

- мощность, расходуемая на подъем мелющих тел и материала – «полезная» мощность;
- мощность, расходуемая на преодоление трения в цапфовых подшипниках и приводе при вращении барабана.

Полезная мощность:

$$N_{\text{п}} = 0,2 \times G \times D \times n, \text{ кВт} \quad (3.7.1)$$

$$N_{\text{п}} = 0,2 \times 140 \times 3,02 \times 17,0 = 1438 \text{ кВт}$$

Полная мощность:

$$N = \frac{0,2 \times G \times D \times n \times \eta_{\text{п}}}{\eta_{\text{т}}}, \text{ кВт} \quad (3.7.2)$$

где  $\eta_{\text{т}}$  – механический коэффициент полезного действия мельницы, учитывающий потери на преодоление трения в подшипниках и приводе,  $\eta_{\text{т}} = 0,9 \div 0,94$ ;

$\eta_{\text{п}}$  – коэффициент повышения мощности двигателя с учетом пускового момента,  $\eta_{\text{п}} = 1,1 \div 1,2$ .

$$N = \frac{0,2 \times 140 \times 3,02 \times 17,0 \times 1,2}{0,92} = 1875 \text{ кВт}$$

#### Расчет муфт.

Соединение приводного вала мельниц с центральными приводами, с редукторами и днищем барабана осуществляется посредством зубчатых муфт.

В зубчатых муфтах расчету подвергаются зубья, которые рассчитываются на изгиб, срез и смятие от действия окружного усилия:

$$M_{\text{расч}} = R_1 R_2 M_{\text{кр}}, \text{ Нм.}$$

где:  $R_1$  – коэффициент запаса;

$R_2$  – коэффициент, учитывающий тяжелые условия работы муфты;

$M_{\text{кр}}$  – крутящий момент, Нм.

$$M_{\text{расч}} = 1,2 \times 1,4 \times 188,5 = 31,6 \times 10^3 \text{ Нм.}$$

Окружное усилие определяется по уравнению:

$$P_{\text{окр}} = \frac{M_{\text{расч}}}{R_{\text{ср}}}; \text{ Н} \quad (3.7.4)$$

где:  $R_{\text{ср}}$  – средний диаметр зубчатой муфты, м.

$$P_{\text{окр}} = \frac{31,6 \times 10^3}{0,980} = 32,4 \times 10^3.$$

Проверка зубьев на смятие, изгиб и срез осуществляется по уравнениям:

$$\delta_{\text{см}} = \frac{P}{(R_{\text{н}} - R_{\text{вн}})L \times z \times R_{\text{н}}} , \text{ Н/м}^2$$

$$\delta_{\text{изг}} = \frac{\delta P \times (R_{\text{н}} - R_{\text{вн}})}{L \times b^2 \times z R_{\text{н}}} , \text{ Н/м}^2$$

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{P}{L \times b \times z \times R_{\text{н}}} , \text{ Н/м}^2$$

где:  $R_{\text{н}}$ - наружный диаметр муфты, м;

$R_{\text{вн}}$  – внутренний диаметр муфты, м;

$L$  – длина зуба, м;

$Z$  – число зубьев;

$b$  – ширина зуба, м;

$R_{\text{н}}$  – коэффициент учитывающий, что не все зубья работают одновременно.

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{32,3 \cdot 10^3}{(1,25 - 1,08) \cdot 0,16 \cdot 80 \cdot 0,75} = 19,6 \cdot 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{19,6 \cdot 10^3 \cdot 32,4 \cdot 10^3 \cdot (1,25 - 1,08)}{0,16 \cdot 0,020 \cdot 80 \cdot 0,75} = 56227,5 \cdot 10^4 \quad \text{Н/м}^2$$

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{32,25 \cdot 10^3}{0,16 \cdot 0,020 \cdot 80 \cdot 0,75} = 168,1 \cdot 10^3 \quad \text{Н/м}^2$$

Расчётные величины напряжений на смятие, изгиб и срез должны быть меньше или равны соответствующим допустимым напряжениям.

## **4. Автоматизация и контроль предприятия**

### **4.1. Автоматизация технологических процессов**

#### *Технология производства сырьевого шлама*

Сырьевой шлам представляет собой продукт совместного помола известняка, глиняного шлама и технологической воды.

Процесс производства шлама состоит из следующих операций:

- загрузка дробленого известняка в расходные бункера сырьевых мельниц;
- дозирование дробленого известняка;
- подача воды в сырьевые мельницы;
- подача глиняного шлама в сырьевые мельницы;
- измельчение компонентов.

#### Загрузка дробленого известняка в расходные бункера сырьевых мельниц

Дробленый известняк мостовыми грейферными кранами подается в расходные бункера мельниц. При пуске мельничных агрегатов загораются сигнальные лампы, оповещающие машинистов грейферных кранов о необходимости загрузки соответствующих бункеров.

#### Дозирование дробленого известняка

Из расходных бункеров дробленый известняк поступает на диски дисковых питателей и сбрасывается в загрузочные горловины регулировочным ножом. Количество подаваемого материала регулируется изменением вручную угла установки ножа.

#### Подача воды в сырьевые мельницы

Технологическая вода для приготовления сырьевого шлама подается по трубопроводу из горизонтальных бассейнов. Подача воды в мельничный агрегат осуществляется открытием задвижки с номером соответствующей мельницы, находящейся на площадке питателей у загрузочной точки мельницы с последующей регулировкой.

#### Подача глиняного шлама в сырьевые мельницы

Глиняный шлам в отделение сырьевых мельниц поступает самотеком из вертикальных шламовых бассейнов №№1-4 на реактивные питатели

глиняного шлама, которые находятся на площадке дисковых питателей сырьевых мельниц. Реактивный питатель шлама № 1 обеспечивает подачу глиняного шлама в сырьевые мельницы №№ 1-5, реактивный питатель шлама № 2 – в сырьевые мельницы №№ 6-9. Дозирование осуществляется при помощи исполнительного механизма с пульта управления.

#### Измельчение компонентов

Исходные материалы (дробленый известняк, вода и глиняный шлам), поступающие в загрузочные горловины сырьевых мельниц, перьями трубошнеков направляются в барабаны мельниц. Движение материала вдоль барабана обеспечивается за счет непрерывного подпора со стороны загрузки, производимого новыми порциями поступающего в мельницу материала. В процессе перемещения вдоль барабана материал измельчается посредством ударов свободно падающих мелющих тел (под действием центробежной силы) в 1 камере и истиранием (перекатывание мелющих тел относительно друг друга) во 2 камере. Материал выходит из мельниц в виде шлама и поступает самотеком в приямок грубомолотого шлама, где перемешивается сжатым воздухом.

#### Характеристика материальных потоков

Поступающие на вход мельницы компоненты пожаро- и взрывобезопасны. Они обладают повышенной влажностью и абразивностью. Исходные компоненты имеют следующие характеристики;

Вода – грунтовая и сточная из карьера, технологическая;

Глиняный шлам – влажность 50-60%, титр (содержание  $\text{CaCO}_3$ ) – 3-12%;

Известняк – крупность загружаемого дробленого известняка не должна превышать 20мм (содержание фракции выше 20мм – не более 5%). Титр известняка 85-93%.

#### *Сырьевые мельницы.*

В сырьевом цехе ООО «Топкинский цемент» в качестве помольных агрегатов применяются трубные двухкамерные мельницы двух типоразмеров:

3,0x14м (мельницы №№1,3,4,5,6) производительностью 75 т/ч;

3,2x15м (мельницы №№2,7,8,9) производительностью 85 т/ч.

Мелющими телами первой камеры каждой мельницы служат металлические шары  $D = 100-60\text{мм}$ , а второй камеры – шары  $D = 40\text{мм}$ .

Мельницы приводятся во вращение синхронными электродвигателями через редукторы. Привод мельниц №№ 1,3,4,5,6 осуществляется двигателями СДМ-15-49-6УЗ ( $P_{\text{ном}}=1600\text{ кВт}$ ,  $n=1000\text{ мин}^{-1}$ ), а мельниц №№ 2,7,8,9 - двигателями СДМЗ-32-22-41-60УХЛ4 ( $P_{\text{ном}}=2000\text{кВт}$ ,  $n = 100\text{мин}^{-1}$ ).

На редукторах мельниц №№ 1,3,4,5,6 установлено по 8 датчиков температуры типа ТСМ:2 на быстроходном валу, 2 на первом промежуточном валу, 2 на втором промежуточном валу и 2 на тихоходном валу.

Редукторы мельниц №№ 2,7,8,9 не оснащены датчиками температуры, т. к. двигатели, приводящие их во вращение тихоходные.

По 3 датчика ТСМ установлено на входных и выходных цапфах всех мельниц и по 2 таких же датчика на подшипниках электродвигателей главных приводов. Цапфы, подшипники, зубчатое зацепление главного редуктора и подшипники электродвигателей смазываются индустриальным маслом, подаваемым под давлением от масляных станций. Мельницы №№1,3,4,5,6 имеют по 3 маслостанции (входная цапфа, выходная цапфа, редуктор), мельницы №№2,7,8,9 – по две маслостанции (входная и выходная цапфы, редуктор).

### Системы автоматизации и электроснабжения объекта

#### Управление пуском и остановкой мельниц

Каждая мельница имеет свой щит (пульт) управления. Пульты управления расположены в трех помещениях, находящихся в непосредственной близости от мельниц. В первом помещении находятся пульты управления мельницами №№1-3, во втором - мельницами №№4,5 и в третьем – мельницами №№7-9.

Пуск мельницы осуществляется машинистом и его помощниками в следующей последовательности. Нажатием кнопок на пульте управления включается предупредительная звуковая и световая сигнализация, запускающая насосы маслостанций, затем производится пуск высоковольтного двигателя

привода мельницы. Как только электродвигатель главного привода вошел в синхронный режим, электромонтер дает разрешение приступать к запуску следующей мельницы.

Машинист сырьевых мельниц, убедившись, что пуск мельницы произведен, открывает задвижку подачи воды в мельницу, включает привод дискового питателя и производит регулировку подачи известняка и глиняного шлама. Затем он приступает к запуску следующей мельницы.

Количество работающих одновременно мельниц определяется числом работающих вращающихся печей и наличием свободных шламовых бассейнов. В случае аварийной остановки одной из мельниц, при необходимости производится запуск другой.

Остановка мельниц производится в обратном порядке. Машинист выключает привод дискового питателя, закрывает подачу глиняного шлама, закрывает задвижку на воде, затем выключает высоковольтный двигатель и отключает насосы маслостанций.

#### Управление процессом помола сырья

Управление процессом помола сырьевой смеси осуществляется машинистом сырьевых мельниц на основании показаний контрольно-измерительных приборов уровня загрузки мельницы материалом, индикатора вязкости сырьевого шлама и расхода воды, а так же требований Технологического регламента, устных и письменных распоряжений заместителя начальника цеха «Сырьевой», контрольного мастера лаборатории.

#### Контроль технологических параметров

Измерение и регистрация температуры подшипников цапф, редуктора и двигателя главного привода каждой мельницы осуществляется с помощью автоматических самопишущих шести- и двенадцатиточечных мостов КСМ-4. Вязкость сырьевого шлама контролируется по стрелочному миллиамперметру со шкалой 0-5 мА.

Расход глиняного шлама косвенно определяется по положению конусной задвижки питателя с помощью стрелочного прибора дистанционного указателя положения. Шкала прибора 0-100%.

Расход воды контролируется по шкале дифференциально-трансформаторного самопишущего прибора КСД-3.

Уровень загрузки мельницы определяется по стрелочному миллиамперметру (индикатору загрузки) со шкалой 0-5мА.

#### Регулирование технологических параметров

Количество подаваемого на дисковый питатель дробленого известняка регулируется изменением положения ножа питателя при помощи исполнительного механизма с ручным приводом.

Количество воды, подаваемой в мельницу, регулируется с пульта управления при помощи исполнительного механизма с реверсивным электроприводом.

Количество глиняного шлама регулируется с пульта управления при помощи бесконтактного реверсивного пускателя, управляющего двигателем привода конусной задвижки.

Регулирование вязкости сырьевого шлама осуществляется путем изменения расхода технологической воды. При значительном отклонении вязкости шлама от нормальной кратковременно останавливается работающий дисковый питатель для проработки мельничного агрегата.

Управление титром сырьевого шлама (содержание  $\text{CaCO}_3$ ,%) производится машинистом сырьевых мельниц путем регулирования подачи глиняного шлама в мельницы. Титр сырьевого шлама должен соответствовать заданному лабораторией цеха «Сырьевой» значению.

#### Системы защиты, сигнализации и блокировки.

Каждая из мельниц имеет систему защиты, служащую для немедленной остановки двигателя главного привода при превышении допустимой температуры подшипников цапф, редуктора и самого двигателя, при снижении ниже нормы давления масла в магистрали. Защита от нарушения температурного режима (температура выше  $65^{\circ}\text{C}$ ) осуществляется с помощью автоматических мостов КСМ-4, а насосы маслостанций оснащены

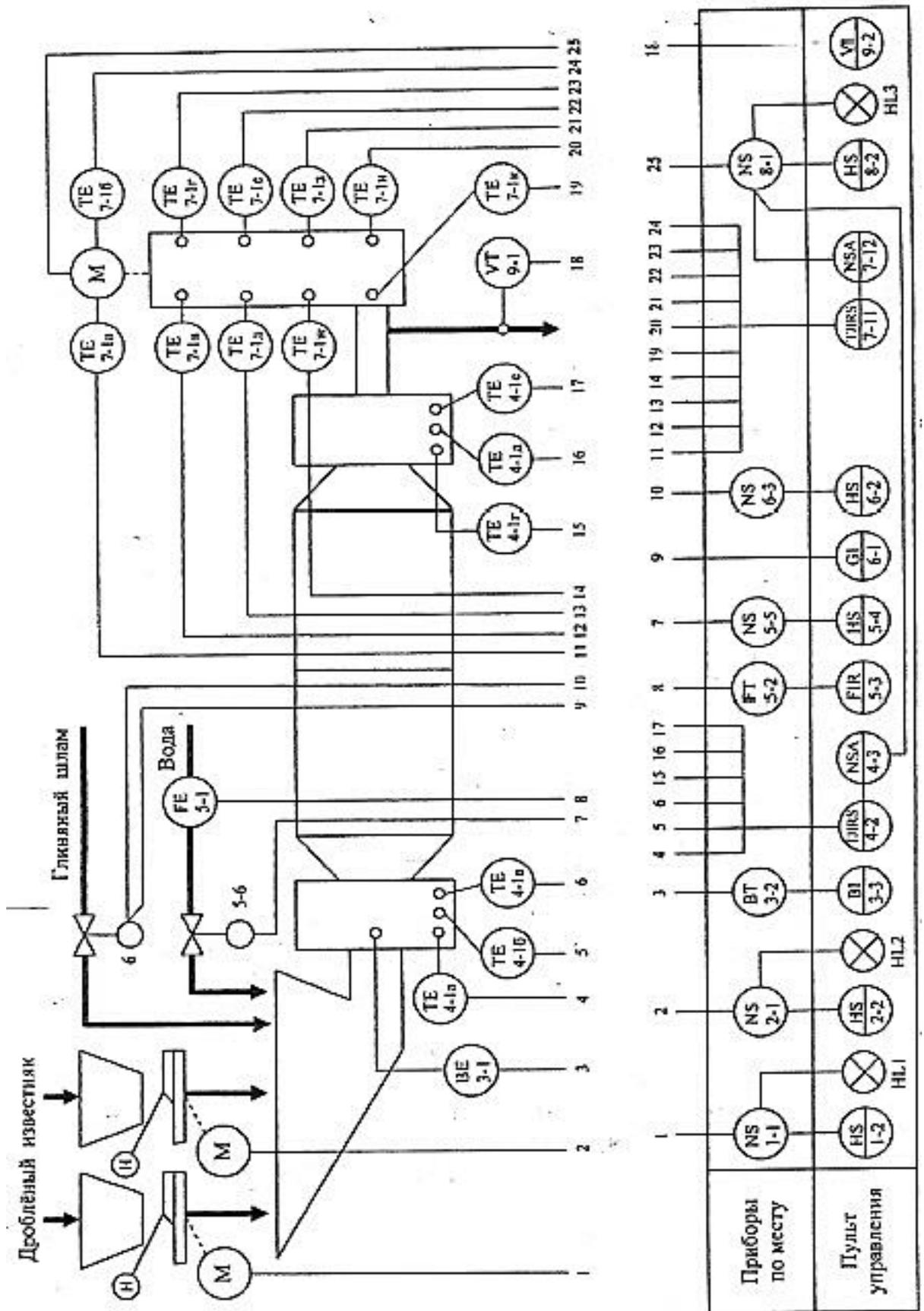
реле давления типа РД, которые срабатывают при недостаточном давлении масла(ниже 1,8-2,2 кгс/см<sup>2</sup>). Индикация о месте и характере неисправности осуществляется при помощи указательных реле (блинкеров), расположенных на щитах управления мельницами.

Система блокировки делает невозможным пуск мельницы, если предварительно не была включена предпусковая сигнализация, если не включен или неисправен насос маслостанции, если насос не обеспечивает достаточного давления масла в магистрали, если неисправна цепь хотя бы одного датчика температуры.

### Система электроснабжения

Сырьевой цех имеет собственную подстанцию 6/0,4кВт, питаемую от главной понизительной подстанции 110/35/6 кВт по магистральной схеме. Напряжение 6кВт используется для питания девяти высоковольтных двигателей общей мощностью 16000кВт. Остальное оборудование цеха питается от трех трансформаторов 6/0,4 кВт, мощностью 1000 кВт каждый. Подстанция цеха имеет две системы шин, питаемых от отдельных вводов.

Рис. 9 Функциональная схема автоматизации сырьевой мельницы



## 4.2. Технологический контроль производства

**Контроль производства** – необходимая составная часть любого технологического процесса. Назначение контроля состоит в обеспечении выпуска продукции высокого качества при оптимальных технико-экономических показателях работы оборудования, а также в получении исходных данных для анализа и совершенствования технологии производства. Основное внимание при организации контроля производства уделяют предупреждению брака продукции и обязательному использованию контрольных данных для оперативного управления производственными процессами. Для обеспечения указанных требований контроль производства на цементных заводах разделяется на оперативный и технологический.

*Оперативный контроль* обеспечивает установленные технологические нормативы и заданный уровень качества полуфабрикатов или готовой продукции на отдельных участках производства, а также поддерживает установленные режимы работы оборудования. Необходимость и частота выполнения операций оперативного контроля устанавливается картой оперативного и технологического контроля, утверждаемой главным инженером завода.

*Технологический контроль* имеет целью управление производством в целом, обеспечение заданного уровня качества продукции, а также совершенствование технологии производства и выполняется заводской лабораторией. Лаборатория организует систему технологического контроля таким образом, чтобы необходимая информация об основных технологических и химических характеристиках сырья, сырьевой смеси, клинкера и цемента была оперативной, достаточной и надежной.

Схемы оперативного и технологического контроля должны предусматривать максимальное использование средств механизации и автоматизации контрольных операций с применением новейших контрольно-измерительных приборов.

При приготовлении сырьевого шлама контролируют следующие параметры: влажность, растекаемость, титр, тонкость помола, химический состав.

Таблица 23.

Технологический контроль отбора проб сырьевого шлама

Материал	Контролируемый параметр	Место отбора проб	Периодичность	Нормативно-техническая документация	Приборы и оборудование	Погрешность измерения
Шлам с сырьевых мельниц	Влажность Растекаемость Титр Тонкость помола	С классификаторов, с мельниц домола	Каждые 2 часа	ГОСТ5382-91 Рабочая методика ГОСТ5382-91 ГОСТ310.2-76	ВЛКР-500 5кл, сушильный шкаф, текучестемер МХТИ. Титровальная бюретка, весыВЛР-200,2кл. весы ВЛК-500 4кл., сито 008,0,2	0,5% 2 мм 0,25% 0,1%
Шлам с вертикальных бассейнов	Влажность Растекаемость Титр Тонкость помола Химический состав	Вручную из вертикального бассейна	От замолотого вертикального бассейна	ГОСТ5382-91 рабочая методика ГОСТ5382-91 ГОСТ310,2-76 ГОСТ 5382-91	Весы ВЛКР-500 4 кл Сушильный шкаф, текучестемер МХТИ Титровальная бюретка, весыВЛР - 200,2кл. весыВЛК-5004кл., сито008,0, 2, рентгеноспектральный анализатор «Twin-X»	0,5% 2 мм 0,25% 0,1% По ГОСТ 5382-91

## 6. Строительная часть

### *Краткая характеристика здания и его конструктивных элементов*

Здания и сооружения производственного назначения должны обеспечивать нормальные условия труда для производственных и ремонтных рабочих при различных климатических условиях и в различные периоды года, а также укрытие технологического оборудования для нормального ведения технологического процесса.

Производственное здание «Сырьевой» в плане имеет прямоугольную форму. Конструкция здания проектируется в соответствии с учетом технологического процесса, поточности производства, размещения оборудования. Трехэтажное здание выполнено из железобетонных конструкций с кирпичным заполнением, а также металлические конструкции внутри помещений, например, площадки для обслуживания оборудования, остекленных оконных проемов зданий. Основной несущей конструкцией является каркас, выполненный из железобетонных колонн.

### Конструктивные элементы

*Фундамент.* Фундаменты относятся к основным элементам зданий, воспринимающими нагрузки от надземных частей и передающим их основанию. Глубина заложения фундаментов под колонны и стены зданий проектируется ниже глубины промерзания. Фундамент под колонны выполнен из сборного железобетона.

*Стены и перегородки.* Основное функциональное назначение стен заключается в защите помещений от влияния климатических факторов, а

также в передаче временных и постоянных нагрузок на фундаменты. Стены производственного здания проектируются каркасного типа, состоящими из железобетонных колонн с заполнением из стеновых железобетонных панелей или кирпича.

Перегородки предназначены для разделения помещений (бытовые помещения, мастерские, отдельные производственные участки). Перегородки выполняются из панелей (гетитов) заводского изготовления, а также в виде каркаса, заполненного плитными или листовыми материалами.

Перекрытия разделяют здание по высоте и воспринимают нагрузку от находящегося в нем оборудования, мебели, а также людей, пользующихся зданием. Перекрытия играют роль горизонтальных диафрагм жесткости, обеспечивающих здания в целом. В данном здании перекрытия выполняются из ребристых железобетонных плит.

*Покрытия.* Фермы и балки являются основой покрытия пролетов промышленного здания. В данном здании покрытие изготовлено из оцинкованной стали. Его изготавливают из рулонной стали толщиной 0,8 – 1 мм, длиной до 12 м. стальной оцинкованный настил укладывают по верхним поясам стальных конструкций покрытия и закрепляют к ним самонарезающими болтами диаметром 6 мм. Между собой элементы настила соединяют специальными заклепками диаметром 5 мм. По настилу располагают плитный утеплитель и наклеивают рулонный гидроизоляционный ковер с защитным слоем гравия, а также с применением бронированного рубероида РБ-420 для верхнего слоя гидроизоляционного крова. С покрытий промышленного здания проектом предусмотрено установить водоотвод внутренний.

*Пол.* К полам предъявляют конструктивные, эксплуатационные, санитарно-гигиенические требования.

Конструкция и материал пола помещения определяются назначением помещения. Полы любых помещений должны хорошо сопротивляться механическим воздействиям (истиранию, удару, продавливанию и др.), иметь необходимую жесткость и упругость, быть удобными при эксплуатации. В

данном здании технологические процессы связаны с влажным режимом, а также интенсивными нагрузками на истирание. Поэтому проектом предусмотрено выполнить полы из бетона.

*Окна.* Окна предназначены для освещения помещений дневным светом и естественной вентиляцией. В данном здании проектом предусмотрены оконные проемы, не предназначенные для вентиляции, заполненные остекленными не открывающимися переплетами или профильным стеклом.

*Ворота.* Ворота в здании предусмотрены для пропуска крупногабаритного транспорта (автомашин, автокранов, автокаров и т. д.). Ворота в здании распашные и имеют размеры 4200x5400 мм. Такие ворота навешивают на стальную раму, обрамляющую проем. При дистанционном и автоматическом открывании ворот должна быть обеспечена возможность открывания их вручную.

*Водоснабжение.* Питьевое водоснабжение осуществляется из артезианских скважин на территории завода.

Таблица 27.

Описание конструктивных элементов основных пристроек

№ п/п	Наименование конструктивных элементов	Описание конструктивных элементов (материал, конструкция, отделка)	
1	2	3	
1	Фундаменты	Железобетонные сваи	
2	а) стены и их наружная отделка	Железобетонные плиты t = 0,40 Кирпич t = 0.7	
	б) перегородки	Железобетонные панели t = 0,20	
3	перекрытия	чердачное	Ребристые железобетонные плиты
		междуэтажное	Ребристые железобетонные плиты
		надподвальное	Ребристые железобетонные плиты
4	Крыша	Мягкая кровля	
5	Полы	Бетонные	
6	про-ем оконные	Двойные деревянные	

		дверные	Простые, ворота
7	Внутренняя отделка		Оштукатурено побелено окрашено

Продолжение табл.27.

8	Санит. и электр. устройства	отопление	От групповой котельной
		водопровод	От городской центральной сети
		канализ.	Сброс в городскую сеть
		гор. водос.	
		ваннны	
		электроосв.	Электропроводка скрытая
		радио	
		телефон	
		вентиляц.	
9	Прочие работы		Отмостка

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный проект разработан для обеспечения грубомолотым сырьевым шламом вращающихся печей цеха «Обжиг» Топкинского цементного завода. Реконструкция данного проекта заключается в переносе межкамерной перегородки и заменой межкамерной перегородки элеваторного типа на прутковую межкамерную перегородку подходящую под технологию производства грубомолотого шлама с минимальным вложением энергитических и финансовых затрат. Новая технология производства сырьевого шлама позволяет экономить на производственных издержках по части расхода электроэнергии, что в наше время это весьма актуально. Так же технология грубомолотого шлама позволяет понизить влажность сырьевого шлама в среднем на 3 – 5%, что при мокром способе производства имеет очень большое значения (влажность сырьевого шлама в цехе «Сырьевой» Топкинского цементного завода составляет 33 – 34%, что ближе к характеристикам полусухого способа производства), так как понижения влаги на 1% экономит расход топлива на обжиг сырьевой смеси в среднем 0,9% и соответственно снижает себестоимость пордланцементного клинкера. В результате увеличивается производительность труда и рентабельность производства. В совокупности всех этих параметров существенно снижается себестоимость основного продукта- портландцемента , что влечёт увеличения прибыли предприятия , что соответственно подтверждает целесообразность данного проекта «Реконструкция сырьевой мельницы 3,2x15м».

## Список литературы:

1. Бауман В. А. и др. «Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: Учебник для вузов. М.: «Машиностроение». 1975. 351 е., с ил.
2. Бутт Ю. М. Технология цемента и других вяжущих материалов. Учебник для техникумов. Изд. 5-е перераб. и доп. М.: «Стройиздат», 1976-е. 407.
3. Боганов И.А. Механическое оборудование цементных заводов: учебное пособие для технических специальностей химико-технологических учебных заведений и факультетов «Машиностроение» 1961 - с.381.:ил.
4. Лоскутов Ю. А. и др. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов: Учебник для техникумов промышленности строительных материалов // Ю. А. Лоскутов, В. М. Максимов, В. В. Веселовский; Под общ. Ред. Ю. А. Лоскутова. М.: Машиностроение, 1986. - 376 е., ил.
5. Банит Ф.Г., Несвижский О.А. Механическое оборудование цементных заводов. Учебник для техникумов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М., «Машиностроение», 1975.- 315 е., ил.
6. Мельник М. П. Берхоер И. Д., Ковалев Ю. С. Расчеты сырьевых смесей и материального баланса цементного завода: «ВИЩА-ШКОЛА», 1972, 148 с.
7. Марннина Л. К., Софинский П. И., Старобинский В. А., Торопов Н. И. Охрана труда в химической промышленности: М.: Химия. 1989 - 496 с.
8. Погызан Г А. Техническая эксплуатация зданий: Учеб, для техникумов- - 3-е изд-е. перераб. и доп. - М.: «Стройиздат», 1990. - 368 е.: ил.

9. Передерий И. А. Технология производства минеральных вяжущих: Издательство «Высшая школа». Москва. 1972 -322 с.
10. Ю.Белов С.В. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/С.В.Белов, А.В.Ильницкая,А.Ф.Козьяков и др.; под общ. Ред. С.В.Белова.- 8-е изд., стер.-М.:Высш.шк., 2009. - 616 е.: ил.
- 11.Щебуняев Г. Ф., Буханько Г. И. Охрана труда на цементных заводах. М.: Стройиздат, 1981 - 88 с.
- 12.Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. Учеб. для строительных вузов факультетов. М.: «Высшая школа», 1971 -382 е.: с ил.
- 13.Технологический регламент. Комплект документов на технологический процесс производства цемента. ТР 53086734-1.1-04е
- 14.И.Г.Лугинина Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч – Белгород: Изд – во БГТУ им,В.Г.Шухова, 2004. – Ч.1. – 240 с.
- 15.Беседин П.В. Исследования и оптимизация процессов в технологии цементного клинкера / П.В.Беседин, П.А.Трубаев; Под общ.ред.П.В.Беседина. – Белгород: Изд – во БелГТАСМ, БИЭИ, 2004. -420с.

