

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

Институт дистанционного образования

Специальность: Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Кафедра: Технологии силикатов и наноматериалов

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Проект реконструкции цеха помола ООО «Топкинский цемент»

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З- 5301	Иванова Елена Евгеньевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу: «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Александровна	к.б.н.		

Томск - 2016г.

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

Институт дистанционного образования

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	Иванова Елена Евгеньевна

Тема работы:

Проект реконструкции цеха помола ООО «Топкинский цемент»
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Сепаратор центробежный с выносными циклонами, тип СМЦ419.4 Ø3.5м. на технологической линии цементной мельницы №6. Производительность – 55-90 т/ч. Режим работы – непрерывный. .
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Снижение фракции цемента с целью увеличения производительности цементной мельницы.
Перечень графического материала	1. Общий план цеха «Помол» 2. Мельница 3,2х15 3. Разрез цеха «Помол» 4. Технологическая схема помола цемента на цементной мельнице №6 5. Графики безубыточности
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
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:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 - 5301	Иванова Елена Евгеньевна		

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт дистанционного образования

Специальность: Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Уровень образования Высшее

Кафедра: Технологии силикатов и наноматериалов

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Дипломный проект

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

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения
выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)

Составил преподаватель:

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

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Погребенков Валерий Матвеевич	Доктор технических наук, Профессор		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 151 с., 14 рисунков, 36 таблиц, 40 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: подготовка сырья для помола, предварительной измельчение, уменьшение фракции входящего сырья.

Объектом исследования является: Сепаратор центробежный с выносными циклонами, тип СМЦ419.4 Ø3.5м. на технологической линии цементной мельницы №6.

Цель работы – увеличение производительности технологической линии цементной мельницы №6.

В процессе исследования проводились: влияние фракции на процесс помола цемента.

В результате исследования выявлено увеличение производительности цементной мельницы №6, уменьшение фракции цемента.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Конструктивной особенностью сепаратора завода «Волгоцеммаш» является возможность загрузки в него материала снизу пневмотранспортом по трубе и сверху механическим способом.

Степень внедрения: проведены теоретические расчеты технологической линии.

Область применения: цех «Помол», цементная мельница №6.

Экономическая эффективность/значимость работы: увеличение производительности помольного агрегата.

Содержание

Введение	7
1. Общая часть	11
1.1. Характеристика завода	11

1.2. Техничко-экономическое обоснование реконструкции цеха «Помол»	15
1.3. Характеристика сырьевой базы предприятия.....	Ошибка! Закладка не определена.
Карбонатное сырье	Ошибка! Закладка не определена.
Глинистый компонент	Ошибка! Закладка не определена.
Гранулированный шлак	Ошибка! Закладка не определена.
Гипс.....	Ошибка! Закладка не определена.
Добавки.....	Ошибка! Закладка не определена.
1.4. Ассортимент выпускаемой продукции. Технические условия. Государственный стандарт на продукцию	Ошибка! Закладка не определена.
2. Технологическая часть	17
2.1. Физико-химические основы помола цемента	17
2.2. Кинетика тонкого измельчения материалов	18
2.3. Теоретические основы процесса измельчения клинкера.....	19
2.4. Особенности тонкого измельчения цемента в трубных мельницах .	Ошибка! Закладка не определена.
2.5. Характеристика способа производства и описание технологической схемы	Ошибка! Закладка не определена.
2.6. Краткое описание конструкции и принципа работы аспирационного оборудования	Ошибка! Закладка не определена.
3. Расчет состава сырьевой смеси.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1. Обоснование выбора состава сырьевой смеси	Ошибка! Закладка не определена.
3.2. Расчет материального баланса	Ошибка! Закладка не определена.
4. Специальная часть	Ошибка! Закладка не определена.
4.1. Механический расчет мельницы 3,2×15 м	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет корпуса мельницы на прочность.....	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет болтов, соединяющих фланец барабана с крышкой.....	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет болтов на усилие затяжки	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет цапфы мельницы	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет подшипника	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет размольной производительности мельницы диаметром 3,2×15м	Ошибка! Закладка не определена.
Расчет мощности электродвигателя.....	Ошибка! Закладка не определена.
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Ошибка! Закладка не определена.
5.1. Расчет производственной мощности и производственной программы	Ошибка! Закладка не определена.
5.2. Расчет материальных затрат.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.3. Расчет себестоимости	Ошибка! Закладка не определена.
5.4. Анализ безубыточности.....	Ошибка! Закладка не определена.
5.5. Анализ экономической эффективности проведенной реконструкции	Ошибка! Закладка не определена.
5.6. Срок окупаемости затрат, необходимых для проведения реконструкции	Ошибка! Закладка не определена.
5.7. Техничко-экономические показатели проекта	Ошибка! Закладка не определена.
6. Социальная ответственность.....	Ошибка! Закладка не определена.
6.1. Источники вредностей в цехе «Помол»	Ошибка! Закладка не определена.
6.2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях	Ошибка! Закладка не определена.
6.3. Мероприятия по охране окружающей среды	Ошибка! Закладка не определена.
6.4. Строительная часть	Ошибка! Закладка не определена.
6.5. Промышленная эстетика	Ошибка! Закладка не определена.
6.6. Управление ГО и ЧС и пожарной безопасностью	Ошибка! Закладка не определена.
Заключение	Ошибка! Закладка не определена.

Список использованных источников.....	Ошибка! Закладка не определена.
Приложение А Удельные нормы расхода материалов	Ошибка! Закладка не определена.

Введение

Современное состояние отрасли и перспективы развития

Цементная промышленность — базовая отрасль в комплексе отраслей, производящих строительные материалы. Роль цемента в современном строительстве очень велика, его ничем невозможно равноценно заменить. Цемент и изготовляемые из него бетон и железобетон являются в настоящее время основными строительными материалами, которые используются в самых разнообразных областях строительства. При этом цемент остается относительно простым, универсальным и дешевым веществом, для изготовления которого требуются широкораспространенные материалы — известняк, глина, мел, гипс (всё перечисленное именуется цементным сырьем), а также вода.

Сейчас ситуация в цементной отрасли остается довольно сложной, так как уровень развития цементной отрасли напрямую зависит от развития отрасли строительства. А отрасль строительства долгое время пребывала практически в режиме покоя.

Наступивший экономический кризис сказался плачевно на цементной отрасли, не смотря на то, что до наступления кризиса цемент как один из первых строительных материалов пользовался высоким спросом. Прямо пропорционально с ростом тарифов начала падать стоимость цемента, такое положение вещей привело к тому, что многие предприятия и цементные заводы стали работать на грани безубыточности. Так же на отрасли по производству цемента сказываются поставки из-за рубежа. Сейчас активно поставляют импортный портландцемент из Турции и Китая. Вообще цемент продают все, кто может, и при этом стоимость его падает с каждым днем.

По качеству цемент может быть либо плохим, либо хорошим. И на этот показатель может влиять не сам завод изготовитель, а посредники, которые его продают. Неверное хранение и транспортировка способны значительно ухудшать качество цемента.

На данный момент в России 49 действующих предприятий:

- 45 — цементных заводов с полным циклом производства;
- 4 — помольные установки, работающие на покупном клинкере.

Оценим состояние цементной промышленности:

1990-1998 гг. – производство цемента снизилось более чем в 3 раза с 85 млн.тонн до 26 млн.тонн;

2000-2007 гг. – объем производства вырос до 60 млн. тонн;

2008-2009 гг. – спад производства цемента до 44 млн. тонн в 2009 г.;

2010 г. – до 50 млн. тонн цемента;

2011 г. – до 56 млн. тонн;

2012 г. – увеличилось до 61,5 млн. тонн;

2013 г. –до 66 млн.тонн;

2014 г. – до 68,5 млн. тонн цемента;

2015 г. –спад производства цемента до 62 млн. тонн;

2016 г. –по оценке СМПРО возможно снижение потребления цемента до 2017 г. с последующим восстановлением к 2020г.

Доля мокрого способа производства в выпуске цементного клинкера равна 87%. 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.

Цементная промышленность России пребывает в кризисном состоянии, на ее радикальную модернизацию требуются большие средства. На настоящий момент предприятия отрасли не в состоянии самостоятельно осуществить серьезные мероприятия по техническому перевооружению, тем более переход на более экономичный и производительный сухой способ. На реконструкцию одного предприятия годовой мощностью в 1 млн т цемента требуется 60—70 млн долл. Для того чтобы построить более или менее крупный завод, который должен производить не менее 0,25—0,3 млн т продукции в год, необходимо вложить от 45 до 60 млн.долл.

Производство цемента в марте 2011 г. увеличилось на 15.8% к уровню марта прошлого года и составило ~3.7 млн. т.

Производство цемента в январе-марте 2011 г. увеличилось на 20.2% к соответствующему периоду 2010 г. и составило ~8.5 млн. т.

Существенный рост производства наблюдался на заводах Евроцемент +0.35 млн. т (+13%), Сибирский цемент +0.17 млн. т (+39%), Lafarge +0.16 млн. т (+52%)., Новоросцемент +0.15 млн. т (+25%), Dyckerhoff +0.09 млн. т (+28%).

Перевозки цемента ж/д транспортом в марте 2010 г. увеличились на 9,5% к уровню марта 2010 г. и составили ~2,4 млн. т.

Перевозки цемента ж/д транспортом в январе-марте 2011 г. увеличились на 24.4% к соотв. уровню 2010 г. и составили ~5.6 млн. т.

Потребление цемента в 2011 г. может увеличиться на 10-15% (с вероятным пересмотром в сторону увеличения) к уровню 2010 г. Среднегодовая цена производителей в 2011 г. может увеличиться на 10-15% к уровню 2010 г. Среднегодовая рентабельность продаж в 2011 г. не превысит 15%.

Согласно данным, опубликованным Федеральной Службой Государственной Статистики, объем произведенного цемента за 12 месяцев 2015 года составил 62 103,5 тысяч тонн. Это на 9,3% меньше, чем за тот же период 2014 года и на 6,3% меньше, чем в 2013 году. В итоге, результаты 2015 года оказались худшими за последние три года.

Год начался с небольшим отставанием от прошлогодних показателей, и к концу первого квартала оно составляло 4,4%. Однако, второй квартал усугубил ситуацию, и уже к концу полугодия отставание составило 8,7%, и эта цифра продержалась уже до конца года. Сезонность (отношение месяца с самым высоким показателем производства к месяцу с самым низким показателем) составила 2,57 единиц. Это типичный показатель последних лет, составивший в 2014 году 2,58, в 2013 году 2,66 единиц, а в 2012 году 2,51 единицы. Месяцем с самой низким производственным результатом стал январь, с самым высоким - июль.

Помол цемента осуществлялся почти исключительно в шаровых мельницах, работающих в замкнутом цикле с сепаратором, или в более старых установках открытого цикла. Процесс помола цемента является крупнейшим потребителем

электроэнергии на цементном заводе. Общее потребление обычно составляет порядка 35 – 45 кВт/т цемента.

1. Общая часть

1.1. Общая характеристика завода

История Топкинского цементного завода началась в послевоенном 1946 году. Именно тогда предварительная разведка Соломинского месторождения известняков показала: горная порода пригодна для производства качественного цемента. 20 лет ушло на разработку проектной документации, подготовку и ведение строительных работ. В строй действующих предприятий завод вступил 30 января 1966 года, когда

государственная комиссия приняла в эксплуатацию технологическую линию №1. Уже через год была запущена вторая производственная линия, в 1970 году начала работу третья. В 1971-м с вводом четвертой линии годовая мощность завода достигла 2,4 млн. тонн клинкера и 2,7 млн. тонн цемента. В 2010 была запущена пятая печь [3].

Генеральный проектировщик - «Гипроцемент». Проектная мощность завода 3,7 тыс. тонн цемента в год.

В сегодняшнее время ООО «Топкинский цемент» входит в структуру ОАО «Холдинговая Компания «Сибирский цемент», с Управляющей компанией в г. Кемерово.

ООО «Топкинский цемент» осуществляет выпуск цемента с полным циклом, т.е. от добычи сырья до отгрузки.

Способ производства цемента – мокрый.

Сырьевой базой для производства цемента является:

Соломинское месторождение известняков и глин, где соответственно добываются:

- известняк;
- глина.

Корректирующие добавки:

- трифолин;
- шлак железосодержащий;
- антрацит (выгорающая добавка).

Минерализатор:

- руда флюоритовая

Минеральные добавки (активные):

- шлак доменный гранулированный.

Водоснабжение:

- технологическая вода – система водоотлива карьера;
- питьевая вода – артезианская скважина №143 Д, ООО «Топкинский водоканал».

Производственная структура – цеховая:

- Основные производственные подразделения: цех «Горный», цех «Дробильный», цех «Сырьевой», цех «Обжиг», цех «Помол», цех «Готовая продукция».

- Вспомогательные подразделения: цех «Транспортный», цех «Лаборатория и ОТК», цех «КИПиА», цех технического обслуживания оборудования, цех «Автотракторный», Складское хозяйство, «Пароводоцех», «Электроцех», Газовая служба.

Цех «Горный» (в карьере) добывает известняк и глину, с помощью горного оборудования: экскаваторы: ЭКГ-5А, ЭКГ-8И, ЕК-400, LIEBHERR, буровой станок D245S DRILTECH.

Цех «Дробильный», осуществляет дробление известняка, на оборудовании: две щековые дробилки размером зева 1400×1800, две молотковые дробилки марки СМД – 97А с системой конвейеров.

Цех «Сырьевой» осуществляет производство шламов (высокотитрованного, корректирующих) с использованием оборудования: три грейферных крана, девять шаровых мельниц, в том числе пять из них 3,0×14 и четыре 3,2×15.

В состав цеха «Сырьевой» входит отделение «Гидрофол» для переработки закарстованного сырья и корректирующих добавок. Оборудование отделения «Гидрофол»: экскаватор ЭКГ – 4У, две мельницы самоизмельчения и две шаровые мельницы домола. ГШБ и ВШБ для приготовления и хранения шлама.

Цех «Обжиг» осуществляет производство клинкера пятью вращающимися печами размером 5х185, также в цехе установлены электрофильтры (УГ-3-4х88, ПГД-4х50, ELEX AG NTF 3429 В3х50) и клинкерные холодильники (Волга 75-СА, Волга КС-75, ЕТА-746).

Цех «Помол» производит цемент на девяти цементных мельницах. Размеры цементных мельниц: 3,2х15 (мельницы № 6,8,9 замкнутого цикла с сепараторами, мельницы № 1-5,7 открытого цикла). После помола цемент пневмокамерными насосами транспортируется в 12 цементных силосов.

В состав цеха «Помол» входит Шлакосушильное отделение с двумя шлакосушильными барабанами 3,5х27.

Цех «Готовая продукция» осуществляет отгрузку готового продукта – цемента.

Добыча сырья, производство полуфабрикатов и готового продукта осуществляется согласно требованиям Технологического регламента (комплект документов на технологический процесс производства цемента) ТР 53086734-1.1-13.

Технологический регламент включает:

- технологическую схему производства;
- нормы расхода сырья, добавок и минерализатора на тонну клинкера;
- нормы расхода клинкера, активных минеральных добавок и камня гипсового и гипсоангидритового на тонну цемента;
- норму расхода газообразного топлива на обжиг тонны клинкера.
- характеристики установленного оборудования и режимов его работы;
- технические требования к сырью, полуфабрикатам и готовому продукту;
- этапы контроля технологических процессов.

Среди регионов потребителями Топкинского цемента являются: Кемеровская; Тюменская; Новосибирская; Омская область; Алтайском край; Казахстан и т.д.. Потребителями таможенного цемента – являются нефти и газодобывающие предприятия, расположенные в Томской и Тюменской областях.

1.2. Технико-экономическое обоснование реконструкции цеха «Помол»

Страна уверенно входит в эпоху строительного бума, поскольку ситуация в цементной промышленности складывается очень сложная. Это можно объяснить тем, что за последние 12-15 лет в эту отрасль почти не вкладывалось никаких денежных средств ни государством, ни частными лицами. В отрасли имеются продолжительные застои. Сократилось количество заводов-изготовителей цементного оборудования, а оставшиеся на плаву единицы заводов не в состоянии сделать и обеспечить нашу цементную промышленность требуемым оборудованием. Оборудование приходится закупать из-за границы, что связано с большими денежными затратами на таможне. Накопленный спрос на жилье, приход ипотечных программ побуждает строителей возрождать массовое домостроение. В связи с увеличением темпов и объемов строительства возрастает спрос на цемент.

Помол клинкера и активных минеральных добавок может осуществляться как в открытом цикле, то есть материал проходит по мельнице один раз, так и в замкнутом цикле. Проект предлагает замкнутый цикл помола.

Применение технологических систем измельчения в замкнутом цикле с сепараторами для помола клинкера и добавок вызвано рядом обстоятельств: необходимостью повышения эффективности процесса измельчения; расширением границ дисперсности до удельной поверхности 4000-5000 см/г при производстве

цементов активностью 50-60 МПа; формированием рационального зернового состава с повышенной однородностью и др.

Основной особенностью технологических систем измельчения в замкнутом цикле является измельчение клинкера и минеральных добавок в мельнице не до дисперсности готового, а значительно, в 2-5 раз грубее (например, до 20-30 % остатка на сите №008) и подачи измельченного в мельнице материала на классификацию в сепаратор. Измельчение в трубных мельницах замкнутого цикла по сравнению с открытым циклом позволяет увеличить количество и повысить скорость движения материала в мельнице; снизить содержание крупной фракции в загружаемом материале и повысить в исходном, направляемом на сепарацию. Эти особенности влияют на кинетику и эффективность процесса измельчения. Так, например, повышенное содержание крупной фракции в измельчаемом материале мельницы является одним из основных факторов повышения энергетической эффективности процесса измельчения в замкнутом цикле по сравнению с процессом в открытом цикле, где вследствие повышенного содержания тонких частиц цемента на последних участках мельницы бурно развиваются процессы налипания и агрегирования, а количество материала в мельничном объеме снижается до предельных минимальных значений. При этом соотношение мелющие тела - материал достигает 10-12 вместо оптимального 7-9. Эффективность процесса измельчения в замкнутом цикле в зависимости от дисперсности цемента повышается на 10-40%.

Цементы, полученные в результате помола в замкнутом цикле, имеют лучший гранулометрический состав по сравнению с цементами, полученными в открытом цикле. При одной и той же удельной поверхности в цементах замкнутого цикла содержится меньшее количество очень мелких частиц, увеличивающих водопотребность цементного раствора, а также меньшее количество достаточно грубых порядка 60-80 мкм, частиц, медленно гидратирующихся в цементном камне. По итогам работы последних лет проследывается тенденция роста спроса на высокомарочный цемент (ПЦ-500) с высокой удельной поверхностью, в том числе и тампонажный (ПЦТ I-500, ПЦТ I-50) с $S_{уд} \leq 3500$. Для улучшения часовой производительности мельницы стабилизации гранулометрического состава цемента, снижение удельного расхода электроэнергии сжатого

воздуха и как следствии из этого снижение готовой продукции было решение установить сепаратор центробежный с выносными циклонами, тип СМЦ419.4 Ø3.5м.

2. Технологическая часть

2.1.Физико-химические основы помола цемента

Существует ряд теорий, объясняющих затраты энергии на измельчение твердых тел.

Согласно «поверхностной» теории Реттингера работа (А), затраченная на измельчение, прямо пропорциональна вновь образованной поверхности измельчаемого материала (ΔS). В общем виде закон Реттингера выражается уравнением:

$$A = Kr \cdot \Delta S \quad (2.1.1)$$

Где Kr – константа измельчения.

Согласно «объемной» теории Кирпичева-Кика работа пропорциональна объемам (V) или массе измельчаемого материала:

$$A = K_k \cdot V \quad (2.1.2)$$

П.А. Ребиндером предложено обобщающее уравнение, по которому работа разрушения твердого тела складывается из работы упругих и пластических деформаций в объеме тела (V) и пропорциональна этому объему ($K \cdot V$), а также из работы, затрачиваемой на образование свободной поверхностной энергии на вновь созданной поверхности ($\delta \cdot \Delta S$). Суммарная работа разрушения:

$$A = \delta \cdot \Delta S + K \cdot V \quad (2.1.3)$$

Бондом предложена теория измельчения, по которой работа измельчения пропорциональна среднему геометрическому из объема и поверхности куска:

$$A = KB \sqrt{d^3 \cdot d^2} \quad (2.1.4)$$

Работу измельчения можно выразить и через размер измельчаемых частиц (d):

По Кирпичеву-Кику $A = K_k \cdot d^3$,

По Реттингеру $A = KR \cdot d^2$;

По Бонду $A = KR \cdot d^{2,5}$.

Ни одного из предложенных уравнений для определения работы, затрачиваемой на измельчение, не дает ее абсолютного значения. Их можно использовать для качественной оценки энергозатрат на измельчение в зависимости от дисперсности продукта.

2.2. Кинетика тонкого измельчения материалов

Эффективность процесса измельчения, его технологические показатели наряду со способами и режимами измельчения в значительной мере определяются физико-технологическими и физико-химическими свойствами измельчаемых материалов. К ним относятся: фазовый состав и кристаллическая структура; твердость, хрупкость, прочность, плотность; крупность, гранулометрический состав. Почти все эти характеристики в большей или меньшей степени влияют на эффективность процесса измельчения.

Наиболее полной характеристикой материала как объекта измельчения является кинетика измельчения, под которой понимают измельчение дисперсности во времени, и в зависимости от количества энергии, подводимой к измельчаемому материалу.

Зависимость содержания крупной фракции (остатка на сите R_t) от продолжительности измельчения (t) описывается уравнением В. В. Товарова:

$$R_t = R_0 e^{-km} \quad (2.2.1)$$

Или

$$R_t = R_0 e^{-(t/t_0)m} \quad (2.2.2)$$

Где R_t , R_0 – содержание крупной фракции в исходном и конечном (к моменту времени t) продукте;

m – параметр, учитывающий изменение свойств материала при измельчении;

k – сопротивление размолу;

t_0 – параметры уравнений, определяющие характер зависимости;

t – продолжительность измельчения, мин.

Из анализа кинетики измельчения вытекает, что для поддержания допустимой для данного сечения мельницы скорости измельчения из мельницы следует сразу же выводить готовый продукт. Если этого не делать, то накопление в мельнице тонкого продукта снижает концентрацию крупных частиц и скорость измельчения, которая пропорциональна концентрации зерен крупного класса. Частичный вывод из мельницы готового продукта возможен при ее работе в замкнутом цикле с системой циклонов.

Для получения портландцемента клинкер подвергают помолу совместно с гипсовым камнем (3-5%), и гидравлическими или инертными добавками, которые перед помолом высушивают. Помол клинкера является важным технологическим процессом, одним из наиболее энергоемких в цементном производстве.

Именно помол, освобождая поверхности, необходимые для гидратации клинкера, придает конечному продукту способность реагировать с водой, которая обеспечивает активность, интенсивность нарастания прочности. Многие свойства цемента зависят не только от фазового и химического состава клинкера, но и от тонкости помола.

2.3. Теоретические основы процесса измельчения клинкера

Для рассмотрения помола в целом необходимо вкратце ознакомиться с процессами разрушения единичного зерна. Как известно, клинкерное зерно представляет собой поликристалл, механическое разрушение которого может быть хрупким, пластическим или смешанным в зависимости от строения кристаллической решетки. Для металлов, содержащих большое количество свободных электронов, при отсутствии фиксированных связей в определенных

направлениях характерны пластические деформации. Для ионно-ковалентных кристаллов, к которым относятся и кристаллы клинкера, характерны фиксированные в пространстве связи и вследствие этого хрупкое разрушение.

Таблица 2.3.1.

Микротвердость и хрупкость клинкерных материалов

Минерал	Микротвердость, МПа/см ²	Хрупкость, мкм
C3S	7670	38.4
C2S	10300	28.4
C3A	8750	31.4
C4AF	10500	19.0

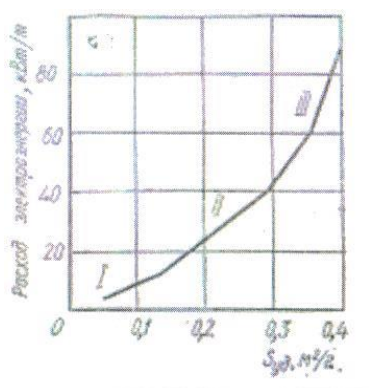


Рис. 2.3.1. Зависимость сопротивления клинкера размолу (по расходу электроэнергии) от удельной поверхности.

Чем выше концентрация свободных электронов и чем больше электропроводимость материала, тем сильнее проявляются его пластические свойства. Из основных клинкерных минералов наибольшей электропроводимостью обладает ферритная фаза, следовательно, ее пластические свойства будут наиболее сильными. Как установили В. Ф. Журавлев и М. М. Сычев, микротвердость и хрупкость (диаметр выколки, образующейся при вдавливании алмазной пирамидки) отдельных минералов цементного клинкера различны. Наибольшей микротвердостью характеризуются белит и C4AF, наименьшей хрупкостью – C4AF (табл. 2.3.1.).

В реальных клинкерах микротвердость зависит от многих факторов. Так, у клинкеров с более мелкими кристаллами она несколько выше. В крупных кристаллах алита микротвердость падает от центра к границам зерна, что объясняется условиями кристаллизации. Гранулы клинкера не являются абсолютно плотными телами. Пористость гранулы составляет 17-26% , поры бывают разного диаметра – от мелких (до 30 мкм) до крупных (свыше 200 мкм).

При приложении нагрузки к грануле сначала от выколки проходит трещина через наиболее крупные поры, разрушая гранулу. При дальнейшем разрушении количество дефектов уменьшается и для дробления гранулы приходится прикладывать большие усилия (рис. 2.3.1.). На рисунке ясно различаются три участка. На участке I сопротивляемость размолу невелика и зависит в основном от пористости гранул. Разрушение тут происходит по границам фаз, и удельная поверхность растет пропорционально расходу электроэнергии. На участке II сопротивляемость возрастает. Здесь она зависит от микроструктуры и фазового состава клинкера, на этом этапе происходит измельчение отдельных кристаллов. Рост удельной поверхности замедляется. Участок III характеризуется экспоненциальным ростом сопротивления размолу из-за агрегирования частичек и налипания их на рабочие поверхности. С увеличением в клинкере количества белита и алюмоферрита сопротивляемость размолу увеличивается (рис.2.3.2). Возрастает сопротивляемость размолу также в клинкерах с повышенным содержанием MgO , FeO и щелочей.

Размалываемость материала оценивается условно, применительно к способу измельчения и агрегату, в котором производится измельчение. Так как при производстве цемента помол ведется в шаровых трубных мельницах, показатели размалываемости материалов изучены преимущественно применительно к этим аппаратам.

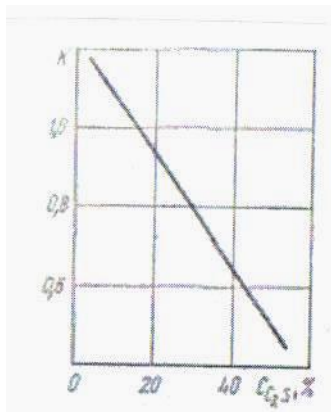


Рис. 2.3.2. Зависимость коэффициента размалываемости K клинкера от содержания C_{2S} .

Наиболее простым способом оценки размалываемости является определение *коэффициента размалываемости*, т. е. отношения времени, необходимого для размолва кварца, ко времени, необходимому для размолва данного материала до той же степени дисперсности:

$$K = \tau_{\text{кв}}/\tau_{\text{м}} \quad (2.3.1)$$

Этот коэффициент может колебаться в довольно широких пределах. Так, по данным Гипроцемента для клинкера вращающихся печей он составляет 0,67-1,41, для клинкера шахтных печей – 1,64-2,50. *Тонкость помола* портландцемента характеризуется по остаткам на ситах с размером ячеек в свету 088, а иногда и 0,06 мм. Более точной является характеристика тонкости помола по *удельной поверхности*. Обычно в цементной промышленности определяют не полную удельную поверхность материала по низкотемпературной адсорбции азота, а пользуются более простым, но менее точным *методом фильтрации воздуха* через слой спрессованного порошка на приборах ПСХ-2, ПСХ-4. Современные рядовые цементы характеризуются удельной поверхностью около 2800-3000 см²/г при остатке на сите №008 5-8%.

Быстро твердеющие цементы имеют и более высокую удельную поверхность (3500-4500 см²/г). С увеличением удельной поверхности цемента прочность и скорость твердения его возрастают сначала достаточно интенсивно, а затем медленнее. Однако когда удельная поверхность достигает 7000 см²/г,

наблюдается некоторое снижение прочности, что объясняется более высокой водопотребностью тонкоизмельченного цемента. Высокая удельная поверхность цемента отрицательно влияет также и на его морозостойкость.

В первые сутки твердения рост прочности цемента пропорционален его удельной поверхности, а затем пропорциональность нарушается. (Рис.2.3.3)

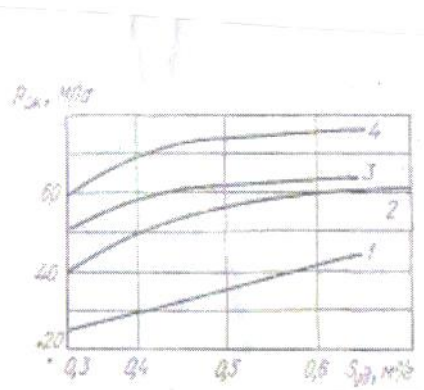


Рис. 2.3.3. Зависимость прочности цемента от удельной поверхности:

1 – 4 – соответственно возраст 1, 3, 7 и 28 сут.

На свойства полученного цемента влияет не только удельная поверхность, но и условия измельчения. Так, Г. С. Ходоков измельчал цемент до одинаковой удельной поверхности в шаровой, вибрационной, струйной и эксцентриковой мельницах и установил, что цемент, измельченный в струйной и вибрационной мельницах, наиболее активен, а измельченный в эксцентриковой мельнице – наименее активен. Это объясняется различной формой полученных зерен. Гранулометрия порошка, полученного в результате помола в шаровых мельницах, выражается уравнением Розена-Раммлера – Шперлинга:

$$R = 100e^{-b \cdot x^n}, \quad (2.3.2)$$

Где R – содержание частичек размером больше x, масс. %;

n – коэффициент равномерности распределения;

b – константа.

При помоле в разных фракциях клинкера содержание различных минералов не одинаково. В мелкой фракции (0-20 мкм) обычно больше C3S и C3A, а более крупные фракции обогащаются QS и C4AF. Как показали многочисленные исследования, наибольшее влияние на прочность цемента

фракция 5-30 мкм. В обычных цементах ее должно содержаться 40-50, а в высокопрочных и быстротвердеющих цементах – до 70%. Фракция менее мкм оказывает решающее влияние лишь на прочность цемента в первые сутки твердения, а повышение ее количества до 20-25% ведет к переводу цемента в разряд особо быстротвердеющих. Фракция 5-10 мкм влияет на прочность в трех- и семисуточном возрасте, а фракция 10-30 мкм – в месячном возрасте и более. Фракции цемента более 60 мкм практически являются балластом. На рис. 2.3.4. показан рост прочности различных по гранулометрическому составу фракций одного и того же цемента.

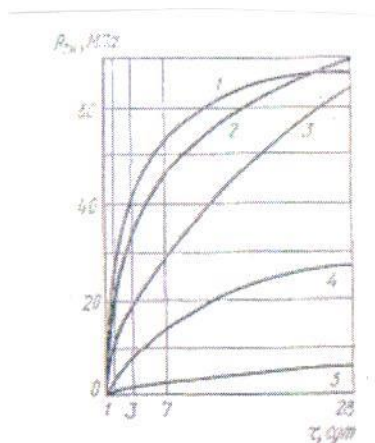


Рис. 2.3.4. Рост прочности на сжатие различных фракций цемента: R – прочность образцов из растворов жесткой консистенции; t – срок твердения; 1 – 5 соответственно крупность фракции 0-7; 0 – 25; 20 – 50; 35 – 160 мкм .

2.4. Особенности тонкого измельчения цемента в трубных мельницах

Помол клинкера – завершающая стадия производства портландцемента. Измельчают клинкер в трубных мельницах открытого и замкнутого цикла.

Отличительные особенности измельчения клинкера по сравнению с помолом сырьевых материалов при сухом способе производства портландцемента обусловлены более высокой твердостью клинкера. Кроме того, для получения качественного цемента размалываемые зерна должны иметь заданный зерновой состав. Цемент, содержащий в определенном

сочетании мелкие и относительно крупные зерна, обладает наиболее высокими физико-химическими показателями.

Твердость клинкера и его размолоспособность зависят от режима и способа обжига (в шахтных или вращающихся печах), а также от минералогического состава сырья. В качестве характеристики способности клинкера к измельчению пользуются *коэффициентом размолоспособности*. Его принимают равным 1,0 для клинкеров вращающихся печей средней размолоспособности, 0,8 – 0,9 с повышенным и 1,1 с пониженным сопротивлением размолу. Чем выше коэффициент размолоспособности, тем быстрее измельчается клинкер и тем больше производительность мельницы.

При очень быстром охлаждении клинкера размолоспособность его понижается в результате значительного содержания в клинкере клинкерного стекла – не успешного закристаллизоваться расплава. Примерно так же на свойства клинкеров влияет содержание двухкальциевого силиката по сравнению с трехкальциевым силикатом. Последний, имея более хрупкие кристаллы, размалывается быстрее. Тонкость помола цемента, характеризуется остатком на сите № 008, составляет 8-12% для большинства цементов (согласно стандарту этот остаток не должен превышать 15%); удельная поверхность такого цемента составляет примерно 2500-3000 см²/г. Расход электроэнергии на получение 1 т цемента при измельчении клинкера с коэффициентом размолоспособности 1,0 составляет 35-40 кВтч. С повышением тонкости помола затрата электроэнергии возрастает в значительно большей степени, чем степень измельчения. Так, увеличение тонкости помола на каждый 1% уменьшения остатка на сите № 008 повышает расход электроэнергии на 4-6% и снижает производительность мельницы на 3-5%.

Основными агрегатами для тонкого измельчения материалов при производстве цемента являются трубные мельницы, в которых материал измельчается под действием мелющих тел.

Для помола цемента в основном применяются установки с трубными мельницами, работающие по открытому циклу помола (с однократным прохождением материала через мельницу) или в замкнутом цикле с

классификацией измельченного материала в сепараторах (воздушно-проходных, центробежных) и возвратом выделенной в ней крупки в мельницу на домол. На предприятиях цементной промышленности работает более 600 цементных мельниц. Эти мельницы по своему устройству аналогичны мельницам, применяемым для приготовления сырьевого шлама или сырьевой муки, и имеют в зависимости от конструкции центральный или периферийный привод с электродвигателем мощностью 3600 – 11500 МДж (в зависимости от производительности) с 2-3 ступенчатым редуктором. Размеры установленных мельниц колеблются в значительных пределах: от 2-2,6 до 4 м, длина от 10 до 15 м, а их производительность от 10-15 до 70-85 т/ч цемента и более.

Внутренняя поверхность мельницы покрыта бронеплитами для предохранения ее от истирания мелющими телами и измельчаемым материалом, обладающим повышенными абразивными свойствами. Бронеплиты, как правило, крепят на корпусе мельницы с помощью болтов, пропущенных сквозь корпус мельницы и закрепленных снаружи мельницы гайками; такое крепление несколько ослабляет прочность корпуса; крепление бронеплит необходимо периодически проверять и подтягивать крепежные гайки, что уменьшает коэффициент использования мельницы, снижает производительность труда, но позволяет сравнительно просто осуществлять замену такой бронефутеровки. Существуют несколько методов внутримельничного крепления футеровки, общими недостатками которых является сложность монтажа при установке футеровки, а также ее демонтажа после продолжительной работы, когда броневые плиты в результате ударного действия мелющих тел несколько сплюсчиваются (расклепываются), очень плотно прилегая друг к другу. Применение прокатной бронефутеровки повышает коэффициент использования мельницы, несколько снижая ее производительность из-за ухудшения сортировки шаров.

Мельница по длине разделена на две камеры междукамерными перегородками (одинарными или двойными), жестко закрепленными на корпусе мельницы и препятствующие прохождению сквозь них крупных кусков материала и мелющих тел; наличие междукамерных перегородок позволяет

загружать в камеры мелющие тела различного размера и формы (шары или цилиндроконусы) в зависимости от степени измельчения поступающего в камеру материала. Для прохождения измельченного материала в решетке имеются отверстия чаще трапециевидного сечения с большим основанием, обращенным в камеру тонкого измельчения, чтобы они не замазывались измельчаемым материалом, не забивались осколками мелющих тел и посторонних включений, попадающих в мельницу с измельчаемым материалом. Щели в перегородках размещают радиально или по концентрическим окружностям, причем их форма, ширина, живое сечение (%) и расположение должны создавать минимальное сопротивление движению измельчаемого материала и аспирационного воздуха вдоль мельницы. Внутренняя поверхность мельницы футеруется продольными, а днище – торцовыми бронеплитами. Наличие в мельнице двойной перегородки способствует более быстрому продвижению тонко измельченного материала в следующую камеру за счет вделанных в нее приспособлений и наиболее эффективно при помоле многокомпонентных цементов из крупнокусковых материалов, резко отличающихся по размолоспособности.

В каскадном режиме работы мелющие тела при вращении мельницы перекатываются, измельчая материал под действием раздавливающих и истирающих усилий (рис. 2.4.1. а, б) , а в водопадном режиме шары центробежной силой прижимаются к корпусу мельницы и в зависимости от диаметра поднимаются на определенный угол, после чего отрываются от корпуса, пролетают по инерции немного вверх и падают по параболической кривой (рис. 2.4.1. в, г) в направлении вращения мельницы, разрушая при этом материал воздействием удара.

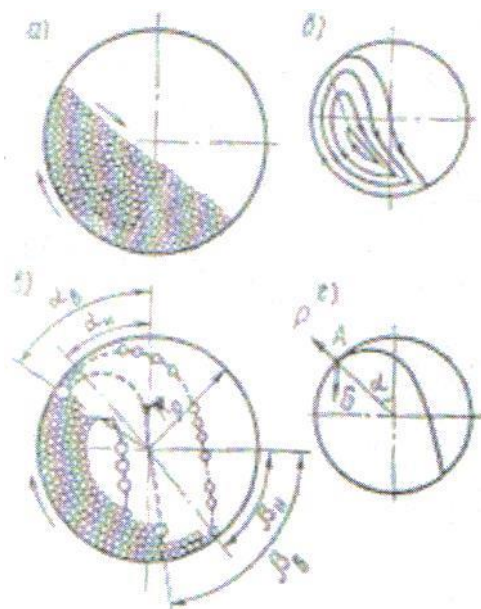


Рис. 2.4.1. Схема движения шаров при режиме работы мельницы
а, б – каскадном; в, г – водопадном;
ав, а_н – угол отрыва шаров соответственно и наружного рядов;
βв, β_н – угол падения шаров соответственно внутреннего и наружного рядов;
Р – центробежная сила;
G – сила тяжести;
A – угол отрыва шара в точке A.

При работе мельницы на скоростях меньше критической наблюдается одновременное воздействие истиранием и ударом при движении шаров в смешанном каскадно-водопадном режиме движения. Установлено, что угол отрыва шаров, а для оптимально работающей мельницы составляет $54^{\circ}40'$ ($\sim 0,92$ рад).

Работа шара в момент удара зависит от его кинетической энергии и пропорциональна его массе и высоте падения. При вращении мельницы на шар действуют центробежная сила Р и сила тяжести G (см. рис. 2.4.1, г). Шар поднимается до точки A, определяемой углом отрыва а, при условии $P = G \cos a$. Подставляя значения центробежной силы инерции, выраженное через массу шара и центростремительное ускорение, и преобразуя величины, получим уравнение

$$\cos \alpha = n^2 R/900, \quad (2.4.1.)$$

Называемое основным уравнением движения шара в мельнице, связывающее его угол отрыва α с радиусом корпуса мельницы R (расстоянием шара от поверхности до центра мельницы) и скоростью n вращения мельницы.

Из уравнения видно, что угол отрыва шара от корпуса, как и высота подъема шара, не зависят от его размеров и массы. При увеличении скорости вращения можно достигнуть такого момента, когда шар поднимается на максимально возможную высоту, не отрываясь от корпуса барабана (вращаясь вместе с ним). Скорость, при которой начинает проявляться это явление, называется критической; шар при этом не совершает работы по измельчению, находясь в состоянии покоя относительно бронефутеровки. При этом угол отрыва шара равен нулю, а косинус α равен 1 и основное уравнение движения принимает вид

$$1 = n^2 R/900 \quad (2.4.2)$$

откуда критическая частота вращения мельницы, мин,

$$n_{кр} = 30\sqrt{R} = 42,3/\sqrt{D} \quad (2.4.3)$$

где D – внутренний диаметр барабана мельницы, м.

Из формулы видно, что для удерживания шаров, находящихся во внутренних слоях (ближе к центру мельницы), необходимо развить большую частоту вращения мельницы, т. е. $n_{кр}$ зависит от коэффициента заполнения мельницы. Частоту вращения мельницы n принимают приблизительно равной $0,75n_{кр}$, при этом в мельнице будут наблюдаться оба вида воздействия шаров на материал – истиранием и ударом; соотношение между ними будет зависеть от вида применяемых броневых плит и коэффициента заполнения камер материалом.

В зависимости от размеров мельницы и количества камер в ней, скорости ее вращения, места установки бронефутеровки по длине мельницы, вида выпускаемого цемента, размолоспособности клинкера и добавок и ряда других факторов применяют бронеплиты с различной формой рабочей поверхности: волнистая, рифленая, ребристая, ступенчатая, каблучковая и т. д.;

по профилю бронеплиты различают на цилиндрические, конические или сортирующие.

Форма поверхности и профиль футеровки играют существенную роль в механизме движения мелющих тел и материала внутри мельницы; от них зависят количество энергии, передаваемой вращательным движением мельницы мелющей загрузке, высота подъема шаров, режим работы шаров на данном участке (каскадный или водопадный – рис. 2.4.1.), распределение шаров в зависимости от диаметра и сортировки измельченного материала по длине камеры мельницы, обеспечение оптимального подъема мелющих тел при заданной скорости вращения мельницы. Конусность броневых плит позволяет осуществлять самосортировку мелющих тел по длине мельницы в результате перемещения шаров с большей массой ближе к загрузочному устройству мельницы.

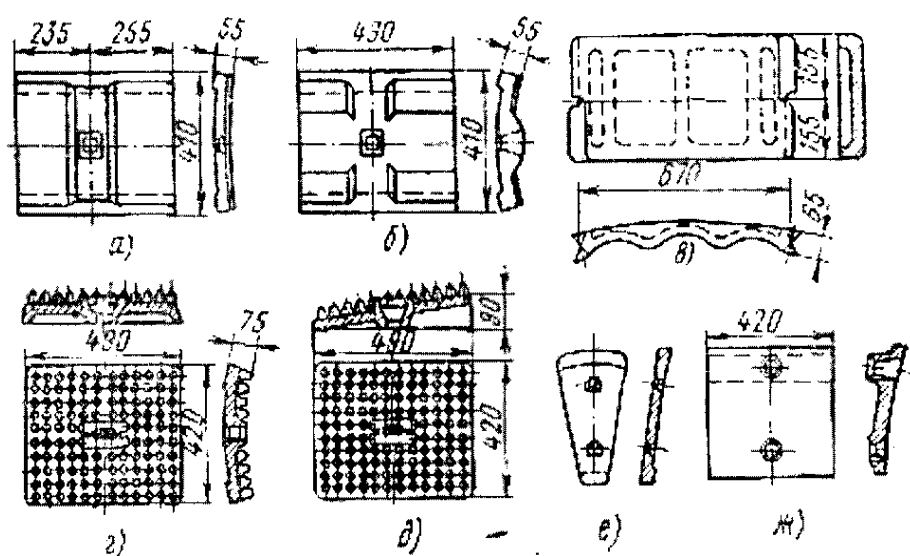


Рис. 2.4.2. Плиты футеровки

а – плоская, б – выпуклая, в – волнистая, г – каблучковая обыкновенная, д – каблучковая самосортирующая, е – торцовая, ж – ступенчатая.

Для эффективности работы цементной мельницы большое значение имеет правильно подобранная мелющая загрузка, которая в каждой камере должна состоять из мелющих тел различного размера с учетом крупности поступающего в эту камеру материала, причем в камерах грубого помола обязательно должна производиться самосортировка шаров за счет установки бронеплит соответствующего профиля. Характер движения мелющих тел в последней камере мельницы (цильпелбс и шары диаметром 30 мм) должен быть в основном каскадным, так как материал, поступающий в эту камеру, имеет небольшой размер, а эти мелющие тела наиболее эффективно работают при истирании.

Массу мелющих тел, необходимую для загрузки, рассчитывают по формуле

$$Q = \pi D / 4 \times L_1 \phi \rho = 0.78 \times L_1 \phi \rho \quad (2.4.4.)$$

Где Q – масса мелющих тел, т; D – внутренний диаметр мельницы, м; L₁ – внутренняя длина мельницы за вычетом толщины перегородок, м; φ – коэффициент заполнения мельницы в долях единицы; ρ – плотность мелющих тел, т/м³.

Учитывая большие затраты энергии на помол, необходимо подбирать оптимальный режим работы мельницы с целью максимального снижения удельного расхода электроэнергии, мелющих тел, бронеплит и других ресурсов с учетом, что на помол 1 т клинкера вращающихся печей расходуется 25-30 кВт-ч электроэнергии, шлака доменного около 30 кВт-ч, трепела и опоки около 20кВт-ч, а в зависимости от состава и свойств цементной шихты, ее конечной тонкости помола и т. д. удельный расход металла бронеплит, междукламерных перегородок и мелющих тел с учетом качества металла колеблется в пределах 0,7 – 1,5 кг на 1 т измельченного цемента.

Средний расход мелющих тел на помол портландцемента без добавок (100% клинкера +3-5% гипса) составляет в среднем 0,6-0,9, а для шлакопортландцемента (50% клинкера + 50% шлака + 2,5-5% гипса) – соответственно 0,8 – 1 кг на 1 т. В связи с этим при продолжительной работе производительность мельницы постепенно снижается и ее необходимо

периодически догружать мелющими телами, а через 1800 – 2000 ч работы производить полную перегрузку мелющих тел по фактическому диаметру шаров, производя их промежуточную сортировку.

2.5.Характеристика способа производства и описание технологической схемы

Клинкер, гипс и шлак из объединенного склада клинкера и добавок грейферными кранами подается в приемные бункера мельниц, откуда через весовые дозаторы в строго заданном процентном соотношении попадает в загрузочную точку мельницы. Затем шихта, через трубошnek и полую цапфу подшипника мельницы, попадает в ее первую камеру, загруженную шарами большого диаметра (100 – 60 мм).

Материал движется по мельнице в результате подпора вновь поступающего через загрузочную часть мельницы материала, а также за счет аспирации мельницы. Материал, проходя по первой камере, подвергается воздействию шарами сначала самого крупного диаметра, затем все меньшего диаметра. Материал проходит к перегородке и постепенно, по мере измельчения, под напором новых измельчаемых порций проникает сквозь щели в перегородке и (при применении двойной перегородки) дополнительно сортируется в ней, причем крупная фракция при вращении мельницы вновь возвращается в первую камеру на домол. Мелкая фракция попадает во вторую камеру, где подвергается в основном истирающему воздействию шаров мелкого диаметра (18 – 33 мм). Измельченный материал проходит через

полую цапфу и центральное разгрузочное устройство на контрольное сито, смонтированное в выгрузочной части мельницы.

Весь вышедший из разгрузочного днища мельницы цемент фулерным (пневмовинтовым) насосом снизу подается в воздушно-проходной сепаратор.

При работе сепаратора исходный продукт, попадая на диски ротора, сбрасывается с него за счет центробежных сил и движется к стенкам корпуса. Воздушный поток, создаваемый вентилятором, проходя через слой материала, подхватывает мелкие фракции (готовый продукт) и уносит их в циклоны и далее в рукавный фильтр, где они и осаждаются. Работа сепаратора отрегулирована так, что частицы цемента, имеющие тонкость помола крупнее заданной, за счет удара о внешнюю поверхность внутреннего конуса теряют скорость и падают на внутреннюю поверхность внешнего конуса корпуса сепаратора, сползают в его днище в виде крупки и по системе трубопроводов направляются в первую камеру мельницы на домол; туда же подается крупная фракция цемента, выпавшая во внутреннем конусе сепаратора (в зависимости от скорости воздушного потока). Частицы цемента, имеющие размер зерен менее заданного, выносятся воздушным потоком из сепаратора. Очищенный аспирационный воздух возвращается по воздуховодам в мельничный дымосос и вновь направляется в сепаратор, избыточное количество воздуха сбрасывается в атмосферу через сбросной клапан.

Готовый продукт, системой течек подают в промбункер, установленный над пневмокамерным насосом.

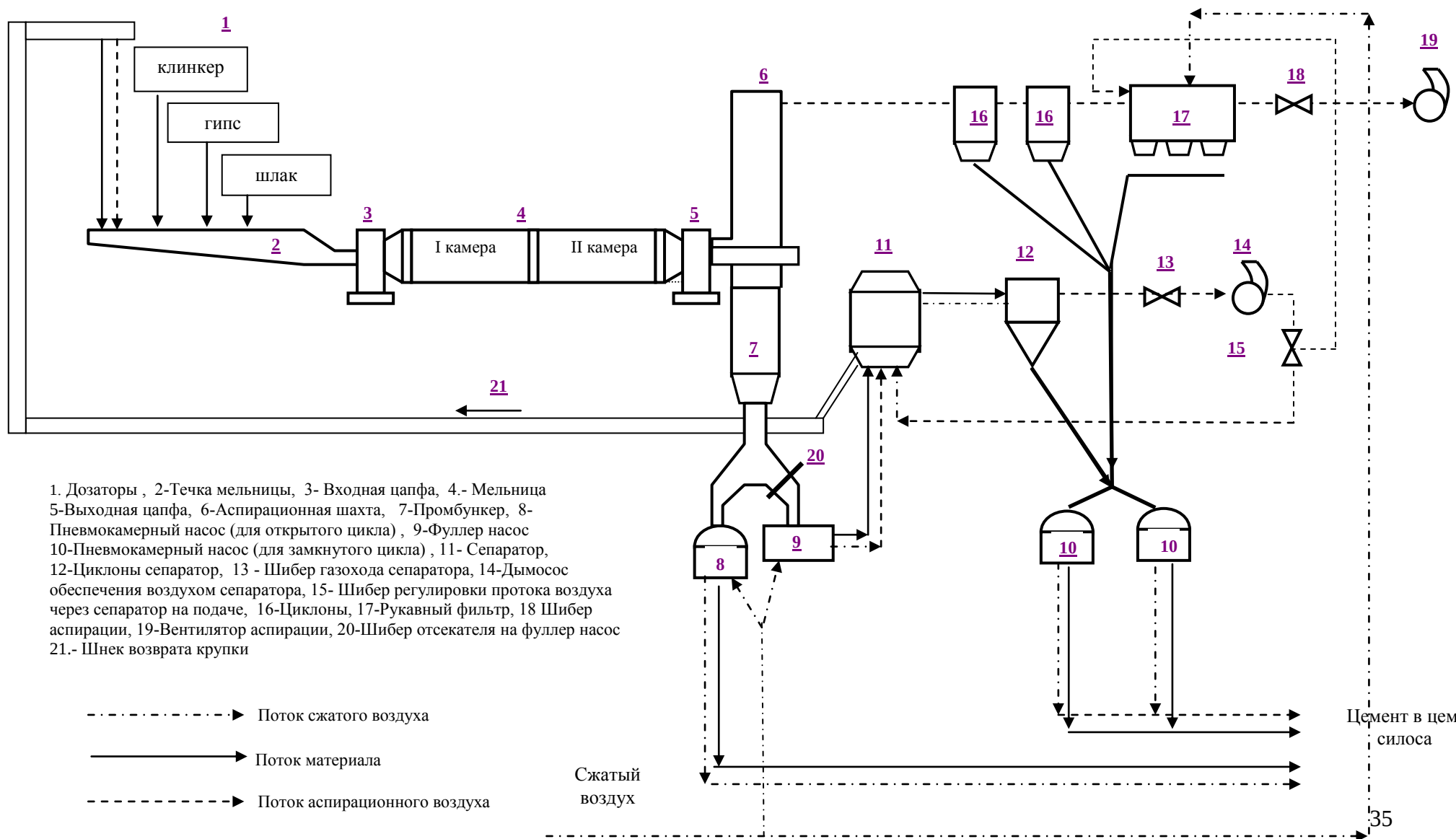
Для удаления готового продукта (мелкой фракции) и снижения температуры внутри мельницы через нее просасывают «аспирационный» воздух, создавая разрежение мельничным вентилятором в выгрузочном коробе мельницы, что резко снижает запыленность в цехе. При этом через мельницу движется воздушный поток, снижающий температуру и влажность воздуха в ней. Он подхватывает и уносит из мельницы наиболее тонко измельченные частицы цемента, снижая их концентрацию в материале, уменьшая их налипание на мелющие тела и улучшая условия помола.

Подхваченные воздушным потоком частицы цемента из мельницы поступают в вертикальную аспирационную шахту (трубопровод большого сечения), где из-за изменения направления и скорости движения часть из них выпадает из воздушного потока и по течке ссыпается в бункер готового цемента. Пылевоздушный поток сначала поступает на первую стадию очистки в циклоны, где из него выпадает большая часть (70—85%) пыли, после чего окончательная очистка аспирационного воздуха осуществляется в рукавных или электрофильтрах.

Уловленный в пылеосадительных установках цемент системой шнеков подается в промбункер.

Готовая продукция из промбункера перекачивается пневмокамерным насосом по цемпроводу в силоса, где происходит окончательное охлаждение и гомогенизация цемента.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПО ЗАМКНУТОМУ ЦИКЛУ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА (мельница №6)



2.6. Краткое описание конструкции и принципа работы аспирационного оборудования

Для увеличения помольной производительности мельницы оборудуются на первой ступени очистки сепараторами. На заводе применяется сепаратор центробежный с выносными циклонами, тип СМЦ419.4 Ø3.5м, производительностью 55-90 т/ч, с частотой вращения ротора 150-200 об/мин; передаточное число 3.65.

Сепаратор состоит из следующих основных частей:

- корпуса, включающего камеру сепарации , входную улитку , конус крупки , и установочные опоры;
- головки с отводами в циклоны;
- крышки с загрузочной течкой, конусом и подводящим к течке воздуховодом;
- ротора, состоящего из трех дисков с лопатками в виде вентиляторного колеса двухстороннего всасывания;
- вала ротора в сборе;
- комплекта подпружиненных растяжек к валу ротора;
- привода с клиноременной передачей и электродвигателем;
- дымососа с направляющим аппаратом и электродвигателем;
- циклонов 11, Ø1300 мм – 6 шт;
- коллектора (воздухосборника) от циклонов;
- напорного воздуховода с шибером, исполнительным механизмом и патрубками;
- системы густой смазки.

Конструкция составных частей предусматривает возможность сборки сепаратора в правом или левом исполнении.

При работе сепаратора исходный продукт, попадая на диски ротора, сбрасывается с него за счет центробежных сил и движется к стенкам корпуса.

Воздушный поток, создаваемый вентилятором, проходит через слой материала, захватывает мелкие фракции (готовый продукт) и уносит их в циклоны, где они осаждаются.

Таблица 2.4.1. Техническая характеристика сепаратора

Наименование показателей	Ед. изм.	Значение
Производительность по цементу с удельной поверхностью	т/ч	
• 2500см ² /г (8-10% ост на сите 008) при 2-3 кратной циркуляции материала		90
• 3500см ² /г (4-6% ост на сите 008) при 5-6 кратной циркуляции материала		55
Частота вращения ротора	об/мин	150-200
Передаточное число клиноремней передачи привода ротора		I=3.65
Электродвигатель привода ротора		
Тип		4ПФМ280МУХЛ4
Частота вращения	об/мин	750
Мощность	кВт	71
напряжение	В	
<i>Дымосос</i> (с направляющим аппаратом)		
Тип		ДН19Б
Производительность	м ³ /ч	90 000

Таблица 2.4.1. Техническая характеристика сепаратора

Полное давление	Па (кгс/м ²)	5200(520)
Частота вращения	об/мин	985
Электродвигатель дымососа		
тип		A03-355M6Y3
Мощность	кВт	200
Частота вращения	об/мин	985
напряжение	В	380
Циклоны, кол-во	шт.	6
диаметр	мм	1300
производительность	м ³ /ч	До 17 000
Объем воздуха, сбрасываемого в аспирацию	м ³ /ч	До 6 000
Масса сепаратора с электрической частью и футеровкой (без каменного литья)	кг	≥37 000

Очищенный в циклонах воздух возвращается по воздуховодам в вентилятор и вновь направляется в сепаратор. Крупные частицы материала (крупка) достигают стенок корпуса и падают вниз к разгрузочной точке.

Привод ротора сепаратора регулируемый, что позволяет в сочетании с регулированием расхода воздуха на вентиляторе получать готовый продукт заданной тонины помола с настройкой без остановки сепаратора. Вентилятор может быть установлен на любых отметках цеха для удобства его обслуживания.

Конструктивной особенностью сепаратора завода «Волгоцеммаш» является возможность загрузки в него материала снизу пневмотранспортом по трубе и сверху механическим способом.

Для равномерного распределения материала по поверхности разбрасывающего диска при механической загрузке сверху, сепаратор снабжается дополнительным воздуховодом, соединяющим патрубок загрузочного конуса с напорным воздуховодом

В загрузочный конус направляется по дополнительному воздуховоду 10-15% циркулирующего в сепараторе воздуха, что обеспечивает в проекции круговое движение частиц материала в объеме загрузочного конуса и их распределение по поверхности конуса, а дальше по окружности разбрасывающего диска и в объеме камеры сепарации. Поступающий в загрузочный конус воздух выходит затем между дисками ротора в зону сепарации и объединяется с общим воздушным потоком.

Поступлению воздуха от напорного воздуховода в загрузочный конус способствует разность давлений в напорном воздуховоде и в загрузочном конусе, а так же вентиляторный эффект вращающегося устройства с лопатками.

При загрузке материала одновременно сверху и снизу концентрация материала в зоне разбрасывающих дисков ротора снижается за счет двухслоевого распределения, что способствует более полному отделению мелких фракций, т.е. повышению КПД и эффективности работы сепаратора, а следовательно и производительности помольной установки.

Вместо механической подачи материала в сепаратор сверху от элеватора при двухслоевом распределении может использоваться также пневматическая подача.

В этом случае цементопровод верхней подачи материала соединяется с патрубком в крышке, расположенным тангенциально к внутренней поверхности загрузочного конуса и под углом от 1° до 30° к горизонтальной плоскости.

Для предотвращения выбросов запыленного воздуха из сепаратора в помещение цеха все разъемные соединения сепаратора снабжаются уплотнительными элементами, а сварные швы выполняются плотными. Кроме того, предусмотрено поддержание в корпусе сепаратора отрицательного

давления в пределах 5-10 мм вод. ст. за счет отвода части циркулирующего воздуха от напорного воздуховода в фильтр тонкой очистки, в пределах 6000м³/ч.

На второй стадии очистки на заводе применяются циклоны, тип ЦН-15 Ø1400мм, 2шт; циклон Ø1500мм, завод-изготовитель им. Тельмана, ГДР, 4шт; циклон тип «Крейзель», Ø1410мм, завод-изготовитель «Сибцемремонт», г. Топки, 12шт.

На третью стадию очистки установлен рукавный фильтр типа ФРКИ-360, 10 шт.

Применение аспирации позволяет повысить производительность мельницы на 20-25 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектом на тему «Реконструкция цеха «Помол» Топкинского цементного завода» предусматривается установка мельницы $3,2 \times 15$ м».

В пояснительной записке разработаны все основные разделы в соответствии с требованиями выпускной квалификационной работы.

В выпускной работе рассмотрены особенности тонкого измельчения материалов в трубных мельницах, работающих по замкнутому циклу, влияние конструктивных особенностей внутримельничных устройств на процесс измельчения. Особое внимание уделено физико-химическим основам тонкого измельчения клинкера и добавок.

Выполнены расчеты сырьевой смеси и полный механический расчет цементной мельницы размерами $3,2 \times 15$ м.

Проведен анализ работы цеха «Помол» и разработаны мероприятия по защите окружающей среды от производственных выбросов.

Выполнен расчет экономической эффективности реконструкции цеха.

Список используемой литературы

1. Журнал «Цемент», ноябрь-декабрь 2007
2. Технологический регламент. Комплект документов на технологический процесс производства цемента TP53086734-1.1-08
3. Пироцкий В. З. Цементные мельницы: технологическая оптимизация. – СПб.: Изд-во Центра профессионального обновления «Информация образования», 1999. – 145 с.
4. Колокольников В. С. Производство цемента. – М.: Высш. школа, 1969. – 287 с., ил.
5. Дешко Ю. И., Крыхтин Г. С., Креймер М.Б. Измельчение материалов в цементной промышленности / 2-е изд-е, Стройиздат, М.: 1966
6. Технология вяжущих материалов: Учеб. для техникумов / В. М. Колбасов, И. И. Леонов, Л.М. Сулименко. – М.: Стройиздат, 1987. – 432 с.: ил.
7. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов; Учебник для вузов / Под ред. Тимашева В. В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472с., ил.
8. Лоскутов Ю. А. и др. Механическое оборудование предприятий по производству вяжущих строительных материалов: Учебник для техникумов промышленности строительных материалов. М.: Машиностроение, 1986. – 376 с., ил.
9. Расчеты сырьевых смесей и материального баланса цементного завода. Мельник М. Т., Ковалев Ю. С. «Высшая школа», 1972, 148с.
10. Автоматизация производственных процессов в промышленности строительных материалов: Учеб. для техникумов / В. С. Кочетов, В. И. Кубанцев, А. А. Ларченко и др.: Под ред. В. С. Кочетова. – Изд. 3-е, перераб. И доп. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 392с., ил.

11. Автоматическое регулирование процессов дробления и помола. Гельфанд Я. Е., Гинзбург И. Б. – Ленинград, 1969. – 175 с.
12. Охрана труда на предприятиях строительной индустрии. А. Ф. Бицаев, Ю. Н. Посяда, А. А. Чуканов, В. В. Сафонов. Киев, «Будивельник», 1976. - 144с.
13. Щербуняев Г. Ф., Боханько Г. И. Охрана труда на цементных заводах. – М.: Стройиздат, 1981. – 88 с., ил.
14. Охрана труда в химической промышленности / Г. В. Макаров, А. Я. Васин, Л. К. Маринина, П. И. Софинский, В. А. Старобинский, Н. И. Торопов. – М., Химия, 1989. – 496с.: ил.
15. Охрана окружающей среды: Учебник для техн. спец. вузов / С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьков и др. Под ред. С. В. Белова. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.: ил.
17. Куликов О. Н., Ролин Е. И. Охрана труда в строительстве: Учебник для нач. проф. образования. – М.: ПрофОбрИздат, 2006. – 288с.