

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

НАВОЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи
УДК 66.012-52.678

ЖАЛИЛОВ АЛИШЕР АКБАРОВИЧ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ
ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Специальность: 5А311001- «Автоматизация технологических
процессов и производств»

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание академической степени
магистра

Научный руководитель:
д.т.н., профессор Базаров М.Б.

Навои 2013

АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ...	10
1.1. Процесс измельчения руды как объект автоматизации	10
1.2. Анализ существующих методов автоматизации и управления технологическим процессом измельчения золотосодержащих руд.....	11
1.3. Анализ существующих методов управления параметрами шаровой барабанной мельницы.....	18
1.4. Описание мельниц и характеристик свойств измельчаемого рудного материала	23
1.5. Цель и задачи исследования	30
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАГРУЗКИ МЕЛЬНИЦЫ	
2.1. Разработка структуры многоконтурной системы автоматического управления параметрами мельницы	
2.2. Разработка контура автоматического регулирования интенсивности подачи руды в мельницу.....	
2.2.1. Разработка алгоритма автоматической идентификации основного параметра процесса измельчения и нахождения передаточной функции объекта управления в явном виде	
2.2.2. Разработка контура автоматического регулирования вязкости пульпы	
2.3. Исследование системы автоматического управления параметрами процесса измельчения в ППП MATLAB	
Выводы по главе 2	

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

3.1. Разработка и исследование системы автоматического регулирования частоты вращения барабана шаровой барабанной мельницы

3.1.1. Определение зависимости установившегося режима измельчения от частоты вращения барабана мельницы

3.1.2. Система автоматического управления скоростью вращения барабана мельницы

3.1.3. Исследование контура автоматического регулирования частоты вращения барабана мельницы при помощи пакета прикладных программ MATLAB

3.2. Рекомендации по разработке автономного электропривода барабана мельницы

3.3. Структура системное управление технологическим процессом измельчения золотоносных руд в шаровой барабанной мельнице

Выводы по главе 3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ.....

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

Энерго-механический факультет

Кафедра «Автоматизация и управление
технологических процессов и производств»

2011-2013 учебный год

Магистрант: Жалилов А.А.

Научный руководитель: д.т.н.,
проф. Базаров М.Б.

Специальность: 5А311001-
«Автоматизация технологических
процессов и производств»

АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Процессы дробления и измельчения в технологии извлечения золота из руд являются наиболее энергоемкими процессами, затраты на эти процессы составляют 30-50 % себестоимости горно-обогажительного передела. От качества измельчения напрямую зависит производительность всех последующих стадий обработки материала, и в конечном итоге эффективность работы фабрики в целом.

Современный уровень развития математического аппарата позволяет расширить представления о сущности процессов измельчения, строить более совершенные математические модели мельничного агрегата как объекта управления. Эти модели позволяют решать технологические задачи измельчения при стабилизации массового расхода пульпы заданного класса крупности без повышения энергопотребления.

Существующие системы автоматического управления процессом измельчения позволяют решать только одну из задач: либо стабилизации массового расхода золотосодержащей пульпы требуемой фракции крупности, либо снижения энергозатратности работы измельчающего агрегата. Поэтому задача комплексной автоматизации процесса измельчения с целью стабилизации готового продукта и снижения энергопотребления является актуальной.

Цель исследования состоит в разработке системы автоматического управления процессом измельчения золотоносных руд в мельнице, для ведения процесса измельчения в наиболее эффективном режиме,

обеспечивая максимизации производительности и минимизации удельные затрат электроэнергии и качества дисперсных материалов в процессе рудоподготовки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Проведение анализа состояния проблемы оптимального управления технологическим процессом измельчения золотосодержащих руд.
- Разработать системы автоматического регулирования плотности пульпы.
- Разработать систему автоматического управления параметрами процесса измельчения, обеспечивающую устойчивую работу мельницы с заданными технологическими параметрами.
- Разработать алгоритм управления частотой вращения барабана мельницы для поддержания требуемого режима измельчения.

Идея работы заключается в создании многоконтурной системы автоматического управления процессом измельчения золотоносных руд в мельнице, в которой при помощи разработанной математической модели процесса идентифицируется текущий параметр качества руды.

Научная новизна работы. Многоконтурная система автоматического управления параметрами процесса измельчения в мельнице отличается от известных комплексным решением задачи стабилизации массового расхода готового продукта требуемого класса крупности вместе с поддержанием требуемого скоростного режима барабана мельницы.

Разработанный алгоритм управления в контуре регулирование частоты вращения барабана мельницы отличается тем, что впервые на основании уравнения материального баланса позволяет найти степень заполнения мельницы.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 103 наименований и приложение. Работа изложена на 105 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и 7 таблиц.

ABSTRACT MAGISTERSKOY THESISSES

Urgency of the problem. The Processes of the crushing and pulverizing in technologies of the extraction gold from ore are a most power-hungry process, expenses 30-50 % prime cost form on these processes is blazed- enrichments

of the redistribution. From quality of the pulverizing stright depends capacity all following stage processing the material, and finally efficiency of the functioning(working) the factory as a whole. The Modern level of the development of the mathematical device allows to increase the beliefs about essence of the processes of the pulverizing, build the more making mathematical models an mill unit as object of management. These models allow to solve the technological problems of the pulverizing at stabilizations of the mass consumption of the pulp of the givenned class крупности without increasing energy consumptions. The Existing systems of the autocontrol by process of the pulverizing allow to solve only one of the problems: or stabilizations of the mass consumption gold ore pulps required factions into large pieces, or reductions energy of the expenses work reducing unit. So problem to complex automation of the process of the pulverizing for the reason stabilizations of the ready product and reductions energy consumptions is actual. The Purpose of the study consists in system development of the autocontrol by process of the pulverizing gold ore in mill, for conduct of the process of the pulverizing in the most efficient mode, providing maximizations to capacity and minimization of the specific expenses to electric powers and quality dispersion material in process ore of preparation.

The Problems of the study. For achievement put(deliver)ed purposes necessary to solve the following problems:

- An Undertaking the analysis of the condition of the problem of optimum control technological process pulverizing gold ore.
- Develop the systems of the automatic regulation to density of the pulp.
- develop the system of the autocontrol parameter process of the pulverizing, providing firm functioning(working) the mill with given technological parameter.
- develop the algorithm of rotation frequency control of the drum of the mill for maintenance of the required mode of the pulverizing.

The Idea of the work is concluded in making the multiloop system of the autocontrol by process of the pulverizing gold ore ore in mill, in which with the help of designed mathematical model of the process is identified current parameter quality ore. Scientific novelty of the work. The Multiloop system of the autocontrol parameter process of the pulverizing in mill differs from the known complex decision of the problem to stabilizations of the mass consumption of the ready product of the required class into large pieces together with maintenance required speed mode of the drum of the mill. The Designed algorithm of control in sidebar regulation frequencies of the rotation of the drum of the mill differs that that for the first time on the grounds of equations of the material balance allows to find the degree of the filling the mill. The Structure and volume to theses. Dissertacionnaya work consists of introduction, three chapters, conclusions, list of

the used literature from 103 names and exhibit. Work is stated on 105 pages of the typescript, contains 50 drawings and 7 tables.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Процессы дробления и измельчения в технологии извлечения золота из руд являются наиболее энергоемкими процессами, затраты на эти процессы составляют 30-50 % себестоимости горно-обогатительного передела. От качества измельчения напрямую зависит производительность всех последующих стадий обработки материала, и в конечном итоге эффективность работы фабрики в целом.

Современный уровень развития математического аппарата позволяет расширить представления о сущности процессов измельчения, строить более совершенные математические модели мельничного агрегата как объекта управления. Эти модели позволяют решать технологические задачи измельчения при стабилизации массового расхода пульпы заданного класса крупности без повышения энергопотребления.

Существующие системы автоматического управления процессом измельчения позволяют решать только одну из задач: либо стабилизации массового расхода золотосодержащей пульпы требуемой фракции крупности, либо снижения энергозатратности работы измельчающего агрегата. Поэтому задача комплексной автоматизации процесса измельчения с целью стабилизации готового продукта и снижения энергопотребления является актуальной.

Цель исследования состоит в разработке системы автоматического управления процессом измельчения золотоносных руд в мельнице, для ведения процесса измельчения в наиболее эффективном режиме, обеспечивая максимизации производительности и минимизации удельные затрат электроэнергии и качества дисперсных материалов в процессе рудоподготовки.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Проведение анализа состояния проблемы оптимального управления технологическим процессом измельчения золотосодержащих руд.
- Разработать системы автоматического регулирования плотности пульпы.
- разработать систему автоматического управления параметрами процесса измельчения, обеспечивающую устойчивую работу мельницы с заданными технологическими параметрами.

- разработать алгоритм управления частотой вращения барабана мельницы для поддержания требуемого режима измельчения.

Идея работы заключается в создании многоконтурной системы автоматического управления процессом измельчения золотоносных руд в мельнице, в которой при помощи разработанной математической модели процесса идентифицируется текущий параметр качества руды.

Методы исследований. Методы системного анализа, идентификации, методы решения дифференциальных уравнений, методы математического моделирования. Расчеты математических моделей производились с использованием пакета прикладных программ Matlab и MathCAD.

Гипотеза исследования. Повышение качество процесса функционирования автоматизированной системы управления технологическим процессам измельчения на основе методов математического моделирования и регулирования.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- разработанная многоконтурная система автоматического управления параметрами процесса измельчения в мельнице позволяет на основе алгоритма параметрической идентификации стабилизировать массовый расход готового продукта мельницы требуемого фракционного состава.

- разработанный алгоритм управления в контуре регулирования частоты вращения барабана шаровой барабанной мельницы позволяет поддерживать рациональный режим измельчения в зависимости от загрузки мельницы, что ведет к снижению энергопотребления процесса измельчения.

- Разработанная система автоматического регулирования плотности пульпы.

Научная новизна работы. Многоконтурная система автоматического управления параметрами процесса измельчения в мельнице отличается от известных комплексным решением задачи стабилизации массового расхода готового продукта требуемого класса крупности вместе с поддержанием требуемого скоростного режима барабана мельницы.

Разработанный алгоритм управления в контуре регулирования частоты вращения барабана мельницы отличается тем, что впервые на

основании уравнения материального баланса позволяет найти степень заполнения мельницы.

Научная и практическая значимость результатов исследования состоит в следующем: Предложенная математическая модель и разработанная структура многоконтурной системы автоматического управления параметрами процесса измельчения, алгоритм стабилизации массового расхода готового продукта мельницы требуемого фракционного состава могут быть использованы для построения АСУТП измельчения руды, что расширяет возможности автоматизации различных мельниц в отделениях рудоподготовки обогатительных фабрик. Автоматизированная система управления процессом измельчения позволит максимизировать производительность по готовому классу и минимизировать удельный расход электроэнергии.

Реализация результатов. Предложенная структура системы автоматического управления и методика построения математической модели процесса измельчения золотоносных руд в мельнице используются при чтении спецкурсов в процессе подготовки специалистов по специальности магистратуры 5А311001 – «Автоматизация технологических процессов и производств».

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры «Автоматика и управление в технологических процессах и производствах» НГГИ, республиканских и международных научно-технических конференциях (Навои, 2012, 2013г.)

Опубликованность результатов. Основное содержание диссертации опубликовано в 3 научных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы из 103 наименований и 4 приложений. Работа изложена на 105 страницах машинописного текста, содержит 50 рисунков и 7 таблиц.

Пользуясь случаем автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук, профессору Базарову М.Б. за научное руководство и методическую помощь при подготовке диссертации.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Процесс измельчения руды как объект автоматизации

В горной промышленности процессы измельчения играют ключевую роль при подготовке рудного материала для дальнейшей обработки. Данные процессы соответствуют жестким технологическим требованиям к объему производства, материальным и энергетическим затратами. В исследовании процесса измельчения сложилась ситуация, заключающаяся в том, что, хотя за последние десятилетия основные положения о физике измельчения отдельных частиц практически не изменились, сам процесс измельчения в шаровых барабанных мельницах до сих пор, несмотря на многочисленные экспериментальные и теоретические работы в этом направлении, является недостаточно изученным процессом [1,2,3].

Научные исследования в этом направлении ведутся как в отечестве, так и за рубежом. Значительные результаты опубликованы в трудах А.Х. Абдурахмонова, Ф.П. Кизимова, В.Ю. Шамина, М.П. Богородский, Г.А. Хан, В.С. Процуто, К.Н. Назарова, К.Я. Улитенко, И.В. Соколова, В.Г. Костинова, Л.Д. Певзнера, А.Дж. Линча, В.В. Кафарова, М.А. Вердияна, М.Б. Глебова, А.Г. Шварцмана, Р. Калмана, С.Ф. Смирнова, Г.С. Нестерова, Е.Е. Серго, Г.С. Ходакова, Д.Г. Весткотта, Д.Д. Пирсона. Публикации, посвященные процессам измельчения и классификации [7 - 18], более всего отражают накопленный опыт эксплуатации измельчительных агрегатов, чем их теоретическое обоснование и системный анализ процессов. Это объясняется в основном тем, что математическое моделирование процесса измельчения представляет собой сложнейшую задачу, сложность которой обусловлена случайным, практически недоступным для наблюдения характером движения и разрушения частиц в мельнице, а также чрезвычайным разбросом свойств частиц по прочности, геометрическим размерам, форме. Поэтому исследования процесса измельчения пошли по наиболее доступному и простому пути: осуществлялось тестовое измельчение материала в определенных стандартных условиях и результаты измельчения, используя принципы масштабного перехода и некоторые теоретические предпосылки, переносились на реальные измельчительные агрегаты

[21,23]. Этот подход скорее может служить способом определения сравнительной измельчаемости материалов, чем основой для создания системы автоматического управления параметрами процесса измельчения, так как слишком мало факторов, влияющих на процесс, воспроизводится в тестовой лабораторной мельнице. При выборе направления исследования было отдано предпочтение именно математическому моделированию, а не изучению процесса измельчения горных пород на физической модели шаровой мельницы. Это объясняется тем, что физические модели самой мельницы, выполненные масштабированием реальной мельницы трудоемки по изготовлению, сложны по организации и по проведению экспериментов, ограничены по возможностям, т.к. не позволяют варьировать исследуемые параметры в широком диапазоне[4,6,7,10].

Прогресс в исследовании процессов измельчения может быть достигнут только на пути научного, комплексного анализа на основе математических моделей процесса, учитывающих закономерности изменения его гранулометрического состава, теоретических и практических знаний о свойствах и особенностях протекания процессов в шаровой барабанной мельнице. На настоящий момент существует два подхода к построению математических моделей процессов измельчения, на основе физики разрушения частиц и на основе формирования структуры потоков в агрегате. Основными преимуществами этого подхода являются: возможность наиболее точного описания большинства факторов влияющих на эффективность процесса измельчения, возможность описания с необходимой степенью детализации систем сложной структуры и возможности имеющихся компьютерных средств для вычислительной реализации математических моделей.

1.2. Анализ существующих методов автоматизации и управления технологическим процессом измельчения золотосодержащих руд.

Гидрометаллургический завод №1 Навоийского горно-металлургического комбината перерабатывает забалансовые золотосодержащие руды месторождения «Мурунтау», и руды месторождений «Зармитан», «Каракутан» и «Марджанбулак».

Измельчение руды на Гидрометаллургическом заводе №2 Навоийского горно-металлургического комбината производится по

двухстадиальной схеме. Общая технологическая схема завода представлена в приложении 1[3-5]. Первая стадия осуществляется в мельницах мокрого самоизмельчения (ММС). Для увеличения производительности в мельницы добавляют шары, тем самым создается режим полусамомельчения. Оптимальная шаровая загрузка ММС70х23 -70т, ММС90х30 -90ч-120т. Питание мельниц ММС производится дроблёным продуктом из аккумулирующего бункера посредством виброэлектропитателей ВЭП-300, а также двух ленточных конвейеров на блоках №1-17, 19, 20, 22, 24, 26, 27 и трех - на блоках №18, 21, 23, 25. Во второй стадии измельчения установлены мельницы шаровые с центральной разгрузкой (МШЦ) пяти типоразмеров. Загрузка мельниц ММС осуществляется шарами 0 100 мм, МШЦ - шарами 0 67 мм. В качестве классифицирующего оборудования применяются спиральные классификаторы с погруженной спиралью 2КСП-24 и гидроциклоны ГЦ-380.

Современный процесс обогащения руд черных, цветных и редких металлов обязательно начинается с дробления и измельчения.

Измельчение - уменьшение размеров зерен ископаемого сырья под действием внешних механических усилий для получения продукта преимущественно крупностью менее 5 мм[12-15].

В результате измельчения увеличивается поверхность обрабатываемых материалов, что позволяет значительно ускорить растворение, обжиг, химическое взаимодействие, т.е. различные процессы, протекающие тем быстрее, чем больше поверхность участвующего в них твердого вещества.

Существуют следующие способы измельчения: раздавливание, изгиб (размалывание), раскалывание, удар, истирание (рисунок 1.1).

Крупное и среднее измельчение осуществляется машинами, использующими раздавливание, раскалывание, изгиб и удар.

Мелкое и тонкое измельчение осуществляется машинами использующими истирание и удар, такой вид измельчения проводится, как правило, мокрым способом, т.е. в присутствии воды. При мокром измельчении частицы получаемого продукта имеют более равномерную величину; кроме того, уменьшается пылеобразование и облегчается выгрузка готового продукта.

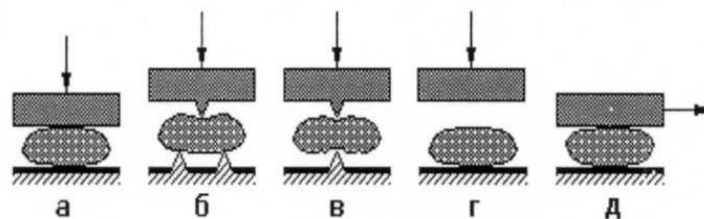


Рисунок 1.1 - Основные способы измельчения

*а – раздавливание; б – изгиб, иначе – разламывание; в – раскалывание;
г – удар; д – истирание.*

Для получения высоких степеней измельчения прибегают к проведению процесса измельчения в несколько стадий на последовательно включенных машинах[16,17,19].

Основное технологическое оборудование процесса измельчения составляют мельницы (мокрого самоизмельчения и шаровые) и классифицирующие аппараты (спиральные классификаторы и гидроциклоны). В зависимости от конкретных условий переработки руды мельницы могут работать либо в открытом цикле (без возврата песковой фракции в мельницу), либо в замкнутом цикле с классификатором (с возвратом песков классификатора в мельницу). Возможна также схема полужамкнутого цикла, когда в мельницу возвращается только часть песковой фракции. В нашем технологическом процессе мельницы работают в полужамкнутом цикле.

Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов, максимальное извлечение всех ценных компонентов из руд – главная задача обогащения науки и практики.

В связи с ухудшением качества минерального сырья, вовлечением в переработку тонко вкрапленных руд технологические схемы обогащения фабрик, часто являются комбинированными, включающие традиционные методы механической обработки в сочетании с гидрометаллургическими процессами

Наиболее высокой задачей процесса обогащения руд является разделение минералов для удаления пустой породы, с целью повышения содержания ценного материала

Исходная руда с конвейера поступает в мельничные бункеры. При помощи вибропитателей происходит разгрузка бункеров на конвейер, с конвейера руда поступает в весовой конвейер где производится ее

взвешивание (т.е. определяется расход руды) и далее, через разгрузочную тачку руда поступает в мельницу ММС 70х23 на измельчение.

Для осуществления процесса измельчения в мельницу подается вода, расход которой регулируется контроллером «ADAM». Для измельчения в данной схеме используется мельница мокрого самоизмельчения. Самоизмельчение дает лучшее раскрытие рудных минералов.

Измельченная руда (пульпа) транспортируется самотеком из мельницы в мельничный зумпф откуда откачивается насосами на отсадочные машины типа ОМР. Пульпа между отсадочными машинами распределяется при помощи пульподелителя.

Настоящая конструкция пульпоотделителя состоит из замкнутого короба, в верхнюю часть которого заведены в трубы пульпопроводов, а на боковых сторонах установлены регулирующие шиберы. Поток пульпы подаваемой насосами из мельничных зумпфов, падая по вертикали, растекаются по дну короба, направляясь к боковым отверстиям с шиберами.

Пульподеление в данном пульподелителе выполняется путем изменения степени открытия шиберов.

За пульподелителем в последовательной цепи аппаратов находится отсадочная машина ОМР-1А где происходит разделение пульпы по плотности в одном потоке. Крупные фракции опускаются вниз на дно аппарата, откуда и разгружаются, а легкие остаются во взвешенном состоянии и поступают на дальнейшую классификацию в классификатор типа КСП.

После отсадочных машин крупные фракции проходят на гравитацию. На гравиостолах (или его еще называют концентрационным столом) происходит дальнейшее разделение минералов по крупности и по плотности в тонком слое воды при возвратно-поступательном движении деки стола. Легкие частицы всплывают и смываются водой в мельничный зумпф откуда откачиваются на повторную обработку в пульподелитель, тяжелые продвигаются по деке стола к разгрузке и отправляется до окончательной доводки в отделение гравитации.

Классификация - процесс разделения материалов на классы различной крупности в жидкой среде. Классификация осуществляется с помощью классификатора КСП-2 с погруженной спиралью. Крупные частицы классифицируемого материала опускаются на дно корыта, классификатора,

откуда вращающимися спиральями перемещаются к верхнему концу корыта, а наиболее мелкие переливаются через сливной порог и как готовый класс подаются на сгущение. А, поднятые вверх пески смываются водой, подаваемой в течку классификатора и отправляются на дальнейшее доизмельчение в мельницу МШЦ 32х45 откуда поступают в мельничный зумпф и далее насосами закачиваются для дальнейшей классификации на гидроциклонную установку. Исходная суспензия нагнетается насосом в гидроциклон через входной патрубок, расположенный тангенциально по отношению к цилиндрической части корпуса. В пространстве между корпусом и патрубком для вывода мелкой фракции поток закручивается. Под действием возникающих центробежных сил крупные частицы прижимаются к стенкам корпуса и, опускаясь вниз по конической части, откуда выгружаясь через нижний патрубок, возвращаются в мельничный зумпф далее подаются на отсадку и т.д. Основная часть воды и взвешенные в ней мелкие частицы изменяют направление движения и покидают полость циклона через патрубок и отправляются на сгущение

Из всего выше сказанного следует, что весь процесс измельчения делится на две стадии:

- *Первая стадия измельчения;*
- *Вторая стадия доизмельчения, т.е. стадия получения еще более тонкого помола.*

На рисунке 1.2 изображена технологическая схема процесса измельчения, где можно наглядно увидеть стадии измельчения и доизмельчения.

Ведение процесса заключается в обеспечении максимальной производительности мельничного блока при поддержании оптимальных технологических параметров[22,23,24,25,28].

Производительность мельниц зависит от следующих факторов:

1. *Крепость и крупность исходной руды.*
2. *Плотность пульпы (соотношение Т:Ж).*
3. *Степень заполнения барабана мельницы.*
4. *Величина шаровой загрузки, размер шаров и их качество.*
5. *Площадь живого сечения и размер щели разгрузочной решетки.*
6. *Крупность конечного продукта.*

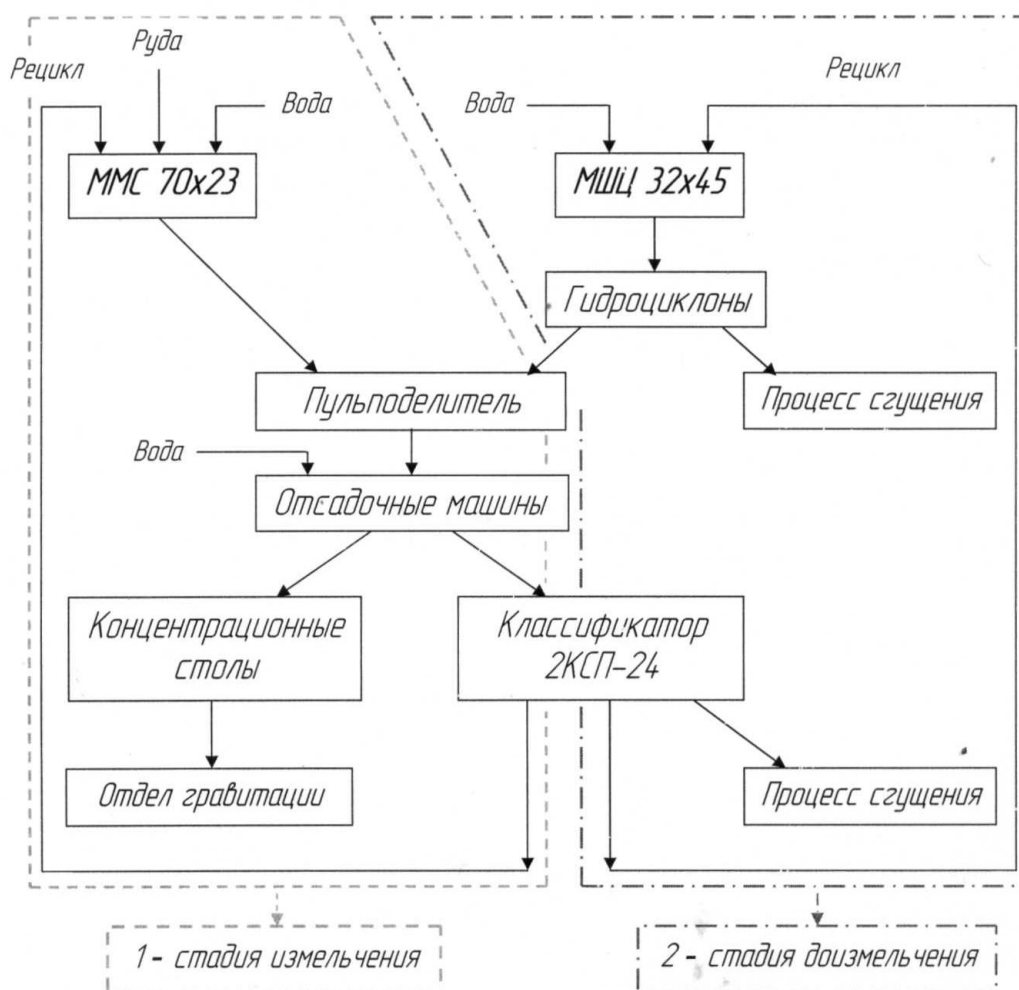


Рисунок 1.2 - Технологическая схема процесса измельчения

Увеличение крупности и крепости руды приводит к перегрузу мельницы и снижению её производительности. При снижении крупности руды производительность увеличивается как по исходному питанию, так и по классу -0,074 мм, что приводит к снижению удельных расходов шаров и электроэнергии. Повышение плотности пульпы в мельницах выше регламентируемой ведет к увеличению вязкости пульпы и затруднению ее разгрузки. Снижение плотности приводит к увеличению скорости движения пульпы и, соответственно, к снижению времени пребывания руды в мельнице.

Оптимальной степенью заполнения барабана ММС рудой и мелющими шарами считается 35-40%. Увеличение степени заполнения приводит к перегрузу мельницы, снижение - к недогрузу, что ведет к снижению производительности. Размер щели разгрузочной решетки ММС - 18^{+2} мм. Установленные параметры процесса показано на таблице 1.1[32].

Таблица 1.1.

Параметры оборудования процесса измельчения

Наименование	Установленный параметр	Периодичность отбора проб	Способ регулирования
1	2	3	4
Дробленая руда	Влажность до 3%	По необходимости	-
Разгрузка ММС	Т:Ж= 1: 0,205-0,24 (ρ=1980-2060 г/л)	4 раза в смену	Подачей воды в мельниц
Разгрузка МШЦ	Т: Ж = 1:0,33-0,45 (ρ=1740-1860г/л)	4 раза в смену	Подачей воды в мельниц
Давление на входе в гидроциклон	0,5 -1,2 атм.	Постоянно	Подачей воды в зумпф г установки и количеством работающих гидроциклонов
Слив гидроциклона	1. Т:Ж=1: 2,29 + 3,03 (ρ =1180-1230 г/л), 2_ Содержание: кл.- 0,074мм не менее 80%, кл +0,14мм до 14 г * на 1 л пульпы	ежечасно	Подачей воды в зумпф гидроциклонной установки
Слив КСП (блок без Г/Ц)	1. Т:Ж=1: 4,01-4,74 (ρ=1120-1140 г/л), 2. Содержание: кл.- 0,074мм 75-80%, кл+0,14мм до 8г* на 1 л пульпы	ежечасно	Подачей воды в классификатор.
Слив КСП (блок с Г/Ц)	1. Т:Ж=1: 4,35-5,20 (ρ=1110-1130 г/л), 2. Содержание: кл.- 0,074мм 75-80%, кл+0,14мм до 10 г* на 1 л пульпы	ежечасно	Подачей воды в классификатор.

1.3. Анализ существующих методов управления параметрами шаровой барабанной мельницы

Совокупность процессов обработки руды разнообразными методами для получения гранулометрического и вещественного составов, определяемых требованиями последующих переделов или нормативами на готовую продукцию, называется процессом рудоподготовки. Как правило, на комбинатах по переработке руд цветных и черных металлов, в химическом производстве данный этап предшествует этапу обогащения руд.

Исследования показывают, что максимальная эффективность извлечения полезного компонента при обогащении руд достигается при крупности частиц 0,074 мм [13, 38, 41].

Как видно из рисунка 1.3 этап рудоподготовки состоит из нескольких процессов:

1. Процесс дробления руды. К дроблению относятся механические процессы, посредством которых добытая в руднике порода разбивается до размеров, подходящих для дальнейшего измельчения посредством размалывания. Устройства, которые разбивают добытое в руднике сырье, относятся к первичным дробилкам; дробилки щекового и конусного типов среди них являются основными.

2. Процесс предварительного измельчения руды представляет собой предварительный этап получения материала необходимой крупности. Обычно производится в водной среде посредством машин, в которых порода измельчается при помощи гальки, образующейся из твердых кусков руды или вмещающей породы.

3. Процесс измельчения руды представляет собой конечный этап сокращения крупности кускового материала. Как правило, измельчение на этой стадии производится в водной среде посредством машин, в которых порода измельчается при помощи чугунных или стальных шаров. В результате происходит образование пульпы с повышенным содержанием частиц класса крупности - 0,074мм (порядка 70-80 % от общей массы пульпы).

4. Процесс классификации руды необходим для приготовления материала определенной размерности, поступающего на обогащение. При этом в результате процесса выделяется крупная фракция пульпы, которая возвращается на доизмельчение.



Рисунок 1.3 - Структура процессов этапа рудоподготовки

С позиции управления наиболее важными и сложными являются непрерывные процессы измельчения руды. Сложность управления заключается в том, что оптимальный режим находится в непосредственной близости от предела устойчивости, что в связи с существованием рециркуляционных нагрузок и значительных транспортных запаздываний еще больше осложняет задачу его поддержания. К наиболее типичным задачам автоматизации процесса измельчения, которые решаются введением контуров стабилизации, относят следующие:

- расход руды в мельницу,
- соотношение «руда-вода» подачей воды в мельницу,
- плотность слива классифицирующего аппарата (классификатора или гидроциклона), изменяемая подачей дополнительной воды в классификатор или зумпф.

Процессы в указанных контурах управления имеют ряд особенностей [47, 74, 76, 87]. При стабилизации расхода руды необходимо учитывать изменение свойств подаваемой руды и других влияющих величин. Установлено, что, несмотря на стабилизацию подачи руды, наблюдаются значительные изменения объёмного заполнения мельницы и выхода готового класса. Оператору приходится менять задание по руде, подстраиваясь под изменяющиеся условия. Объёмное заполнение мельницы рудой постоянно изменяется, поэтому для недопущения перегрузки оператор устанавливает такую производительность мельницы, при которой не происходит переполнения последней. В этом случае мощность мельницы используется не полностью, что приводит к снижению её КПД.

На рисунке 1.4 приведены графики суточного процесса подачи руды (ПР), объёмного заполнения мельницы (ОЗМ) и процента выхода готового класса (ПВГК). Из графика следует, что, несмотря на стабилизацию подачи руды в мельницу оператором, наблюдаются сравнительно большие

изменения ОЗМ и ПВГК. Это приводит к снижению производительности мельницы из-за опасения её перегрузки.

При стабилизации соотношения «руда-вода» в замкнутом цикле к исходной руде добавляется циркуляционная (песковая) нагрузка, объём которой может быть значительно (в несколько раз) больше объёма руды. Это приводит к нарушению стабилизации плотностных режимов из-за изменений циркуляционной нагрузки. На рис 1.5 приведены графики суточного процесса для комплекса «мельница-спиральный классификатор». Из графиков следует, что при удовлетворительной стабильности подачи руды (ПР) объём циркулирующей нагрузки (ОЦН) значительно изменяется. Это объясняется изменением качества подаваемой руды, что требует изменения плотностных режимов для оптимизации процесса.

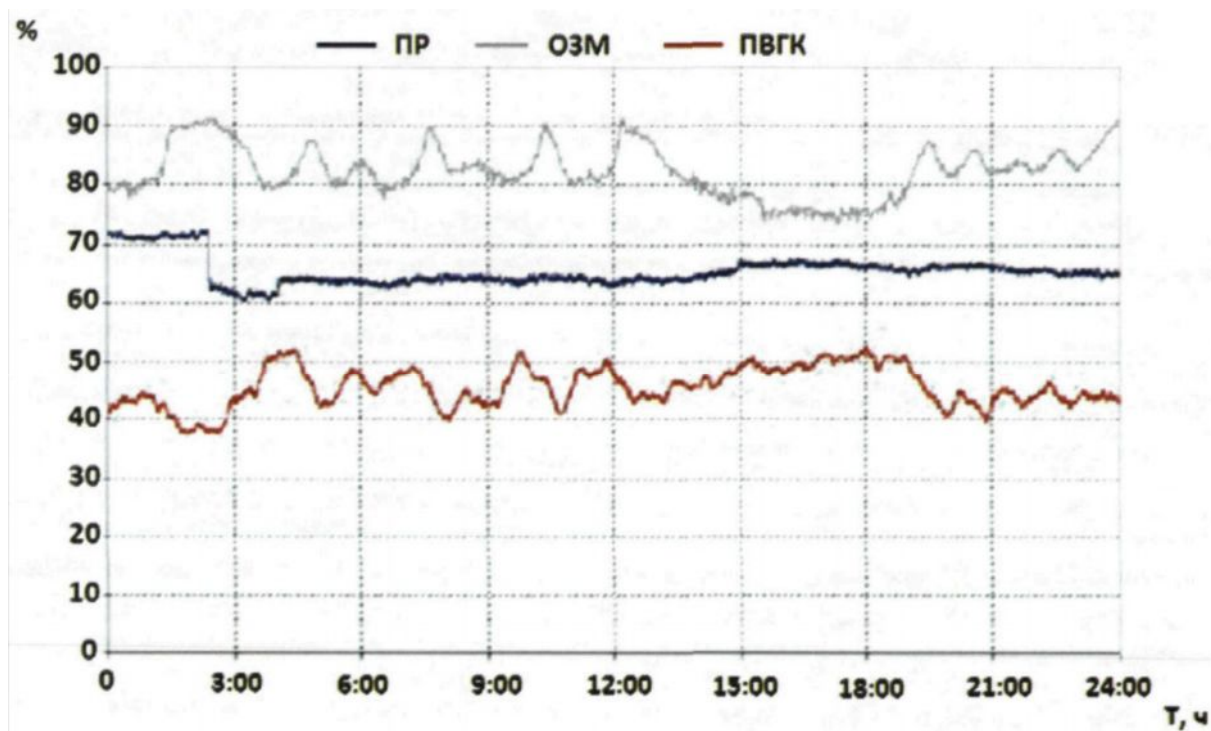


Рисунок 1.4 - Графики суточного процесса подачи руды, объёмного заполнения мельницы и процента выхода готового класса

При стабилизации плотности слива классифицирующего аппарата возможно поддержание необходимых плотностных режимов стадий обогащения, но только в течение ограниченного промежутка времени при малых изменениях свойств руды. Однако на практике достигнуть указанного эффекта не удаётся, поскольку выход заданного готового класса не коррелируется с плотностью слива классификатора.

Повышение средней производительности на (10... 15) % по сравнению с процессом стабилизации расхода руды по рисунку 1.5 можно получить путём автоматического поддержания объёмного заполнения на заданном уровне, которое обеспечивается при помощи датчика (например, виброакустического анализатора). Как следует из рисунка 1.6, процесс подачи руды в этом случае имеет достаточно сложный характер. Этот процесс определяет процент выхода готового класса, поэтому анализ его представляет теоретический и практический интерес.

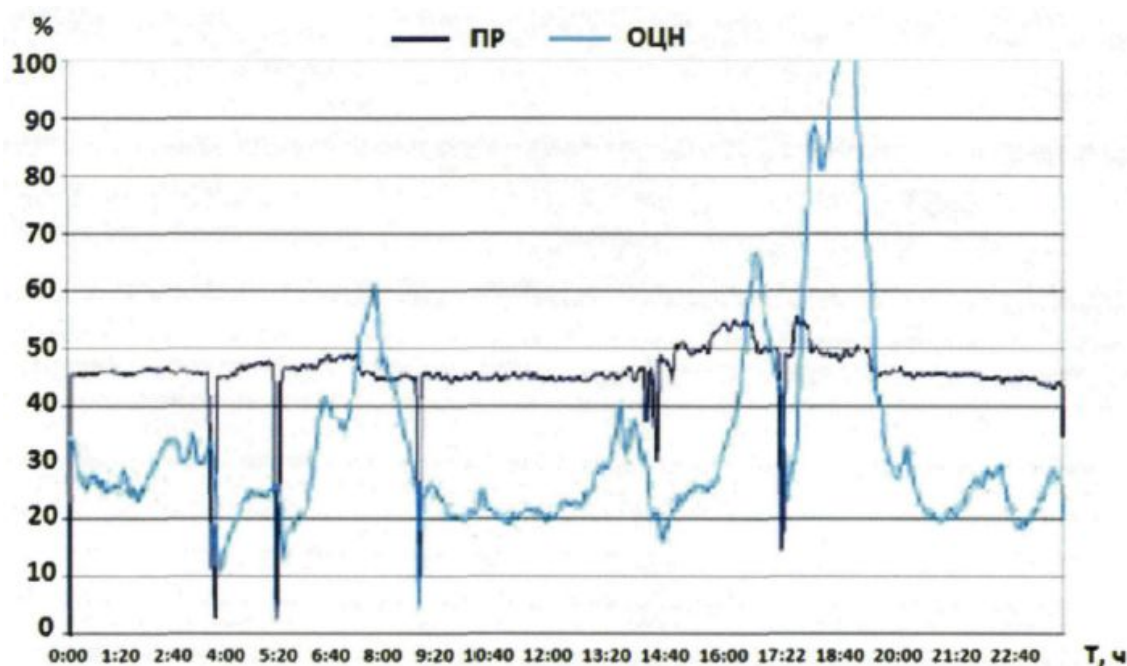


Рисунок 1.5 - Графики суточного процесса для комплекса «мельница-спиральный классификатор»

Кроме того, одним из важнейших факторов, определяющих эффективность ведения процесса измельчения является потребление мельницей электроэнергии. Известно, что на процесс измельчения расходуется до 80% электроэнергии потребляемой всей обогатительной фабрикой. Методы повышения энергоэффективности могут быть связаны с изменением конструктивных особенностей шаровой барабанной мельницы, либо с применением к ней соответствующих систем управления.

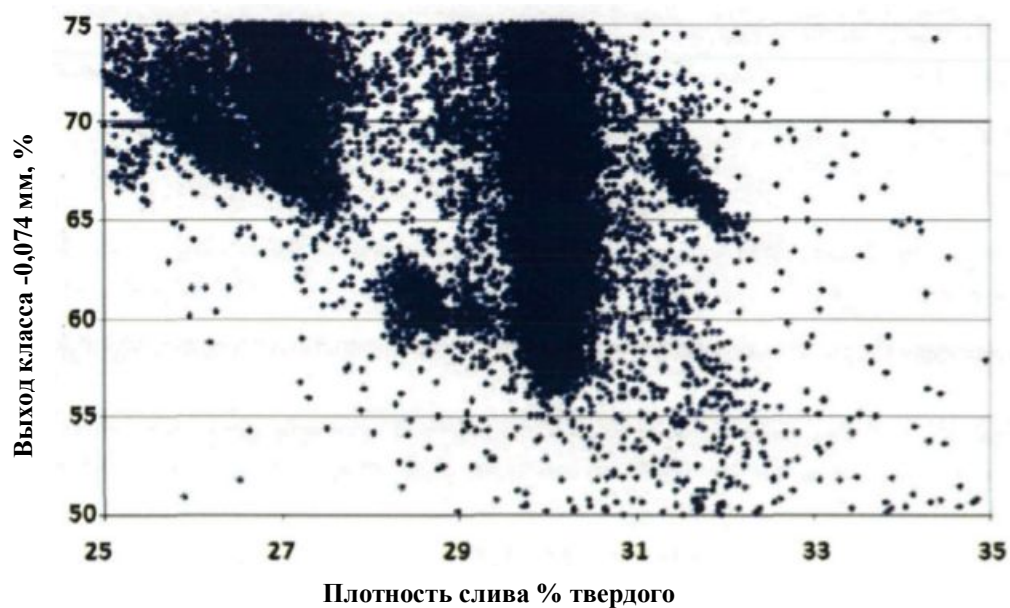


Рисунок 1.6 - Зависимость выхода готового класса от плотности слива классификатора

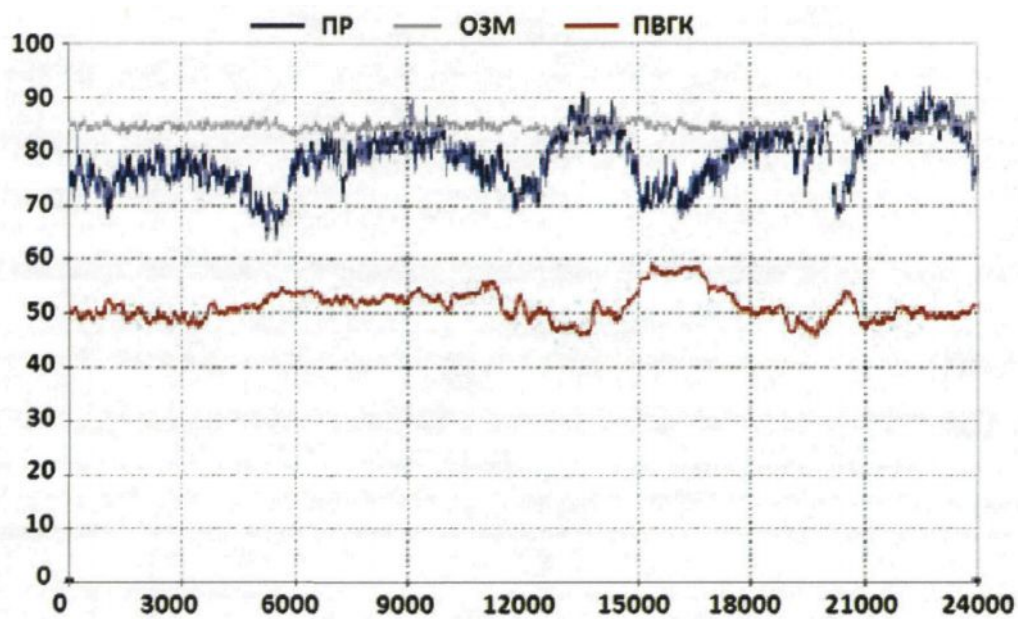


Рисунок 1.7 - Графики суточного процесса подачи руды, объёмного заполнения мельницы и процента выхода готового класса при стабилизации объёмного заполнения

В зависимости от распределения мельничной загрузки в работающей мельнице выделяют несколько режимов: каскадный, водопадный, смешанный, сверхкритический — для каждого из которых характерна максимальная производительность по определённому классу крупности. Кроме того, подробный анализ показывает, что именно режим, в котором

наблюдается максимальная производительность по готовому классу, является и наиболее энергоэкономным[42,44,45,47,102].

1.4. Описание мельниц и характеристик свойств измельчаемого рудного материала

Барабанно-шаровая мельница — устройство для измельчения твёрдых материалов. Основная деталь конструкции — вращающийся барабан, частично заполненный шарами определённого диаметра из стали, чугуна и других сплавов, иногда из керамики. В качестве измельчающей загрузки могут выступать галька и кремьнь. Непрерывная работа мельницы превращает необработанное сырьё в порошок. В промышленности используют шаровые мельницы с непрерывной подачей сырья на входе и с обработкой готового продукта на выходе.

Шаровые мельницы МШР с разгрузкой через решетку используются для измельчения мелкодробленых материалов и работают обычно в замкнутом цикле с классифицирующими аппаратами[16,50,52,53,54]. Шаровые мельницы с решеткой обычно устанавливают до крупности 50-70% класса – 0,074 мм.

Мельница самоизмельчения — измельчительная машина, в которой разрушение материала происходит в результате удара кусков друг о друга при падении, вследствие истирания при качении кусков в каскадной зоне, а также вследствие ударов и сжатий, наносимых набегаящими лифтерами в зоне «ложного носка» по уплотненной компактной части материала. Мельницы самоизмельчения ММС используют в первой стадии измельчения с такими же, как у шаровых мельниц, приемами классификации.

Загрузка руды, поступающей по желобу, производится через загрузочную цапфу. Для подъема руды при вращении мельницы внутри барабана по направляющим установлен полки (лифтеры). Разгрузка измельченного продукта производится через решетку и разгрузочную полость между решеткой и торцевой стенкой, в которой установлены радиальные перегородки. Пульпа поступает в бутару, которая прикреплена к разгрузочной горловине. Двухпродуктовая бутара позволяет выделять гальку крупностью +20 мм и измельченный продукт крупностью -20 мм.

Схема мельницы самоизмельчения типа «Каскад» представлена на рисунке 1.8.

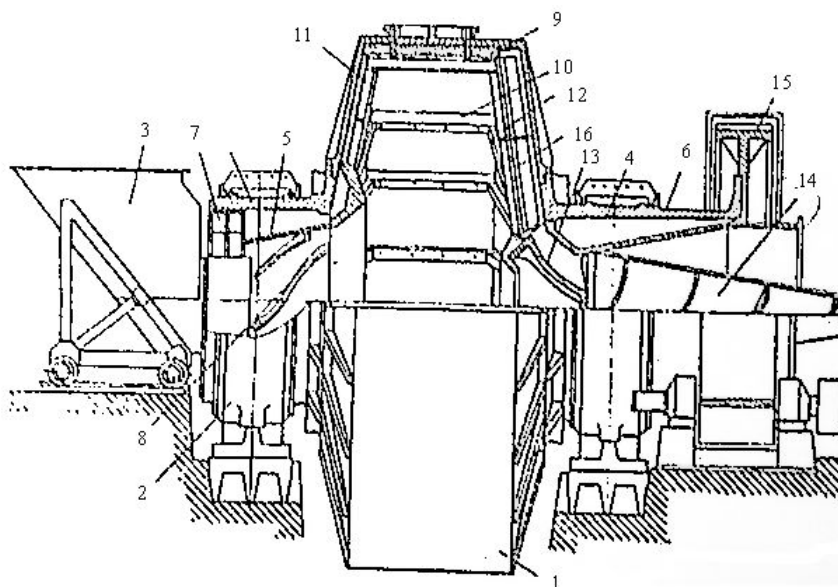


Рисунок 1.8 - Схема мельницы самоизмельчения типа «Каскад»

1 - барабан, 2 - опора барабана, 3 - загрузочный желоб, 4 - цапфа, 5, 6 - загрузочная и разгрузочная втулки, 7 - элеваторные устройства, 8 - спираль загрузочной втулки, 9 - футеровочные плиты, 10 - лифтеры барабана, 11 - футеровка крышки, 12 - лифтер крышки, 13 - конус, 14 - бункер, 15 - венцовая шестерня, 16 - решетка.

Шаровые мельницы МШР состоят из цилиндрического барабана, закрытого с торцов конусными стенками, к которым прикреплены полые цапфы - загрузочная и разгрузочная. Внутренние поверхности барабана имеют сменную облицовку, состоящую из бронеи. Вращение барабана происходит от привода, который состоит из электродвигателя, приводной шестерни и соединяющей их упругой муфты с промвалом, через зубчатый венец, закрепленный на фланце разгрузочной цапфы. Загрузка руды и шаров в барабан происходит через загрузочное устройство, расположенное со стороны загрузочной цапфы. Разгрузка осуществляется через бутару, прикрепленную к горловине. В бутаре, кроме выгрузки, происходит сортировка материала. Работа мельниц осуществляется при непрерывной подаче в полость вращающегося барабана руды и воды. Во время вращения барабана мельницы шары, перекатываясь, скользя и падая, измельчают куски руды[63].

Конструктивно барабанная мельница (Рисунок 1.8) [40, 43, 45, 78] представляет собой пустотелый барабан с загрузочной и разгрузочной

цапфами с торцов, заполненный определенным количеством измельчающих тел и вращающийся вокруг горизонтальной оси. При вращении барабана измельчающие тела благодаря трению увлекаются внутренней поверхностью барабана и поднимаются на некоторую высоту, затем свободно падают (или перекатываются) вниз (Рисунок 1.9.в).

В непрерывно работающих мельницах измельчаемый материал подается через загрузочную цапфу внутрь барабана и, продвигаясь вдоль него, подвергается воздействию измельчающих тел. При этом измельчение частиц материала происходит ударом падающих измельчающих тел, истиранием и раздавливанием частиц между телами. Разгрузка измельченного материала производится через разгрузочную цапфу.

Приводы шаровых мельниц в большинстве представляют собой зубчатые венцы, с полным защитным кожухом. Материалом для отливки зубчатого венца являются либо чугун с шаровидным графитом, либо сталь, при этом зубья обычно геликоидальные, что делает их реверсивными, позволяя использовать оба края, увеличивая срок службы. Приводы шаровых мельниц можно устанавливать либо со стороны загрузки, либо со стороны разгрузки мельницы. Выпускаемыми двигателями для приводов являются высокоскоростные двигатели с контактными кольцами или низкоскоростные синхронные двигатели. Для высокоскоростных двигателей необходим промежуточный редуктор. В шаровых мельницах мощностью до 500 кВт также используются привод цапфы. В больших шаровых мельницах, мощность которых превышает 13500 кВт, обычно используются приводы без зубчатой передачи.

Вращение измельчаемой и измельчающей среды внутри барабана происходит благодаря силам трения среды со стенками барабана. Коэффициент трения зависит от свойств измельчаемого материала, профиля поверхности барабана (футеровки), плотности и вязкости пульпы. При низком коэффициенте трения, небольших загрузках (менее 20-30% объема барабана) измельчающей среды, особенно для шаров, давление может оказаться недостаточным, и внешний слой измельчающей среды будет скользить по поверхности барабана или один слой измельчающих тел по другому. При этом происходит вращение измельчающих тел. При заполнении мельницы измельчающей средой на 40-50% и негладкой футеровке скольжение внешних слоев измельчающих тел практически

отсутствует, но скольжение внутренних слоев одного по другому наблюдается при различных режимах работы мельницы.

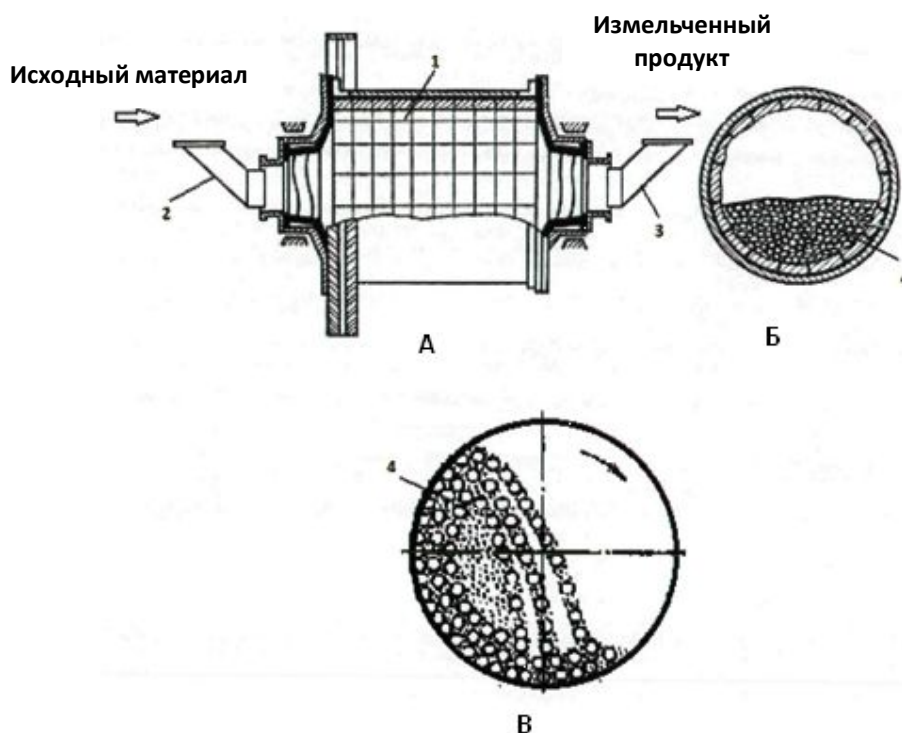


Рисунок 1.9 - Схема устройства (а, б) и принцип действия (в) вращающейся барабанной мельницы: 1 - барабан; 2 и 3 - загрузочная и разгрузочная цапфы; 4 - измельчающие тела

Для управления процессом измельчения материала в шаровой мельнице и подбора условий наивыгоднейшей ее работы необходимо знать, как протекает данный процесс во времени, т. е. знать его кинетику.

Крупность измельченного материала контролируется при помощи контрольного сита, размер отверстий которого соответствует предельной крупности измельчения. Зерна, прошедшие через отверстия сита, образуют готовый продукт. Остаток на контрольном сите представляет собой недоизмельченный крупный класс[58,59].

Исходный материал, подлежащий измельчению, может состоять исключительно из зерен крупного класса либо из смеси зерен крупного класса и готового продукта.

Одним из важнейших факторов, определяющих кинетику измельчения материалов, является измельчаемость. Она характеризует склонность материалов к разрушению в барабанных мельницах. Так как прочностные свойства руд изменяются в широких пределах и по-разному проявляются в различных условиях измельчения, вполне надежно

установить измельчаемость руды и производительность мельницы можно только на основе промышленных или полупромышленных испытаний, измельчив пробу руды в большой мельнице от исходной крупности до заданной.

Измельчение полезных ископаемых на обогатительных фабриках, цементных и металлургических заводах производится в основном мокрым способом, т. е. с водой. С помощью воды производится транспортировка руды между агрегатами. Поэтому необходимо знать и учитывать свойства пульпы.

Пульпой называется смесь минеральных частиц и воды, в которой твердые частицы равномерно распределены в объеме воды. Взвешивание минеральных частиц в воде достигается перемешиванием пульпы или движением ее с достаточной скоростью. Чем крупнее частицы, тем легче пульпа расслаивается. Равномерно перемешанная пульпа обладает многими свойствами жидкости более тяжелой, чем вода.

Состав пульпы характеризуется следующими показателями:

-*содержанием твердого в пульпе по массе*, т. е. отношением массы твердого вещества к массе всей пульпы. Данное отношение выражается в процентах или долях единицы. Для сильно разжиженных пульп массу твердого относят к объему жидкого, т. е. указывают, сколько граммов или миллиграммов твердого приходится на 1 м³ или 1 л воды. Так характеризуются, например, сливы сгустителей и фильтраты. Содержание твердого в мельницах поддерживают в пределах 70–80 %, в сливах классифицирующих устройств — от 15 до 45 %, в песках — 60–80 %;

-*разжижением*, т. е. отношением массы жидкого к массе твердого в объеме пульпы;

-*плотностью пульпы* при известной плотности твердого [73,74].

Производительность шаровых мельниц изменяется примерно прямо пропорционально плотности дробящей среды. Увеличение твердости измельчающих тел дает некоторое повышение производительности. Наибольшую производительность мельницы имеют в том случае, когда измельчающая среда составлена неизношенными, не потерявшими своей формы шарами или стержнями.

При проведении исследовательской работы за основу была взята технологическая линия рудоподготовки цеха измельчения Гидрометаллургического завода №2.

В качестве объекта автоматизации выступает мельница барабанно-шаровая, включенная в технологическую цепочку по схеме, представленной на рисунке 1.10.

Технологическим назначением операции сокращения крупности твердых частиц является раскрытие ценных минералов перед процессом обогащения.

Процесс дробления и измельчения исходной руды организован следующим образом.

Исходная руда с карьера или со склада подается в шнекозубчатую дробилку поз.5 (1-2). Негабаритные куски руды крупностью +900мм разбиваются бутобоем поз.2, на решетке поз. 1(1-2). Дробленая руда по наклонному конвейеру (пластинчатому питателю) поз.6 (1-2) транспортируется в бункера дозировки дробленой руды в мельницу поз.7 (1- 4) и образует над ними конус дробленой руды массой 2000 - 2500 кг.

Дробленая руда из двух бункеров (поз.7) с помощью вибропитателей поз. 8(1-2) подается на ленточный конвейер поз.9 и дозируется в мельницу МПЩ 50*84.

Характеристика оборудования расположенного на автоматизируемом участке приведена в приложение 3.

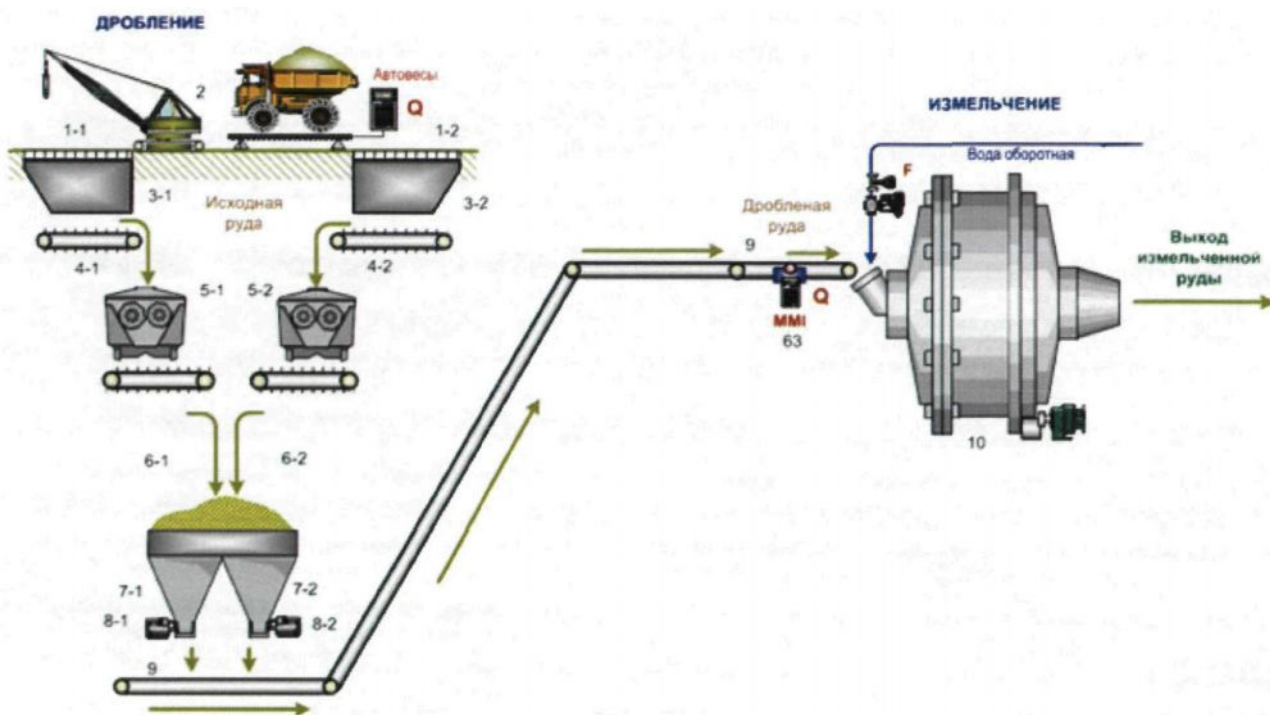


Рисунок 1.10 - Структурная схема включения шаровой барабанной мельницы в технологическую цепочку измельчения руды

Технологическая цепочка содержит средства аналитического автоматизированного контроля в составе:

- автоматизированный комплекс гранулометрического контроля слива мельницы;
- измеритель плотности и объемного расхода пульпы;
- конвейерные весы, для измерения массы руды подаваемой в мельницу;
- Расходомер воды, на трубопроводе подачи воды в загрузочную цапфу мельницы.

По минеральному составу руды месторождения относятся к арсенидно-сульфидному типу с выделением марказит-пиритовых разновидностей с примесью леллингита и арсенопирита относительно типа руды, лёллингит- арсенопирит-пиритовых и пирит-пирротиновых.

Объемный вес руды $2,85 \text{ г/см}^3$, удельный вес руды - $2,86 \text{ г/см}^3$.

В таблице 1.2 представлены физико-механические свойства руды месторождения [32, 34].

Таблица 1.2
Физико-механические свойства руды

Показатели	Ед.изм.	Значение
Предел прочности при сжатии сухой руды	Мпа	87,95
Предел прочности при сжатии мокрой руды	Мпа	71,8
Снижение прочности при намокании	Д.ед.	0,82
Предел прочности при растяжении сухой руды	Мпа	4,79
Предел прочности при растяжении мокрой руды	Мпа	3,93
Снижение прочности при намокании	Д.е.	0,90
Анизотропия прочности при растяжении сухой руды - мокрой руды -	Д-е.	0,50 0,55
Влажность	%	0,127
Пористость	%	0,36
Удельный вес	г/см^3	2,86
Абразивность	Мг	22,95
Дробимость: сухой руды - мокрой руды -	%	7,9 15,5

Средняя прочность водонасыщенной руды составляет 718 кг/см³, т.е. при намокании прочность снижается на 18 %.

Предел прочности водонасыщенной руды при растяжении значительно зависит от направления приложенного усилия и составляет параллельно слоистости 39,3 кг/см², а перпендикулярно слоистости - 21,7 кг/см², т.е. прочность на растяжение изменяется почти в два раза в зависимости от направления приложения нагрузки.

По упругим и динамическим показателям руда имеет средние величины. По показателю абразивности - относится к среднеабразивной.

Коэффициент крепости руды по Протоdjяконову М.М. составляет:

- Мокрая руда - 7,2;
- Сухая руда - 8,8.

Коэффициент измельчаемости руды (индекс Бонда), определенный для отдельных проб составляет от 9,2 до 12,81[49].

1.5. Цель и задачи исследования

При проведении литературного обзора и анализа существующих проблематики при ведении технологического процесса измельчения на рудо-обогащительных фабриках, была выявлена актуальность разработки следующих систем управления:

- Разработка системы автоматической стабилизации массового расхода фракции крупности требуемого гранулометрического состава.
- Разработка системы автоматического регулирования частоты вращения барабана мельницы, обеспечивающей выбор и поддержание рационального режима измельчения.
- Разработка алгоритма адаптации, настройки параметров системы автоматизированного регулятора.
- Разработка системы автоматического регулирования плотности пульпы.

Установление указанных выше задач, позволяет сформулировать цель работы, которая состоит в разработке системы автоматического управления процессом измельчения золотоносных руд в мельнице, позволяющей повысить эффективность производства и качества дисперсных материалов в процессе рудоподготовки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Проведение анализа состояния проблемы оптимального управления технологическим процессом измельчения золотосодержащих руд.
- Разработать системы автоматического регулирования плотности пульпы.
- Разработать систему автоматического управления параметрами процесса измельчения, обеспечивающую устойчивую работу мельницы с заданными технологическими параметрами.
- Разработать алгоритм управления частотой вращения барабана мельницы для поддержания требуемого режима измельчения.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАГРУЗКИ МЕЛЬНИЦЫ

Выводы по главе 2

В главе 2 проводится разработка и исследование адаптивной системы автоматического управления загрузкой мельницы исходной рудой с параметрической идентификацией в процессе измельчения, а также система автоматического регулирования подачи воды в загрузочную бутару мельницы.

Предложен алгоритм автоматической идентификации коэффициента диффузии измельчаемого материала в барабане мельницы, благодаря чему происходит расчет числа Пекле передаточной функции измельчительного агрегата и адаптация системы управления к изменяющимся условиям ведения процесса измельчения. Кроме того, предложенный алгоритм параметрической идентификации системы управления непосредственно в процессе управления, а также факт применения математической модели процесса измельчения, как части системы управления, позволяет компенсировать большую инерционность данного процесса. Показано контуры стабилизации гранулометрического состава классификатора и плотности пульпы, система стабилизации суммарной загрузки мельниц рудой и песками, система стабилизации шума мельницы, система обеспечения заданного соотношения руда-вода

По каждому из контуров управления предложена блок схема реализации данного контура с подробным описанием алгоритма функционирования каждого блока входящего в данную систему управления.

Также, в данной главе проводится исследование разработанных контуров управления в пакете прикладных программ MATLAB, получены графики изменения основных параметров и проведен их анализ.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ШАРОВОЙ БАРАБАННОЙ МЕЛЬНИЦЫ

Выводы по главе 3

Третья глава посвящена разработке и исследованию системы автоматического регулирования частоты вращения барабана мельницы.

Была выведена функциональная зависимость установившегося режима измельчения в барабане мельницы от коэффициента загрузки и частоты вращения барабана мельницы. Разработан алгоритм автоматического управления частотой вращения барабана мельницы, позволяющий обеспечить установление и поддержание рационального режима измельчения, в котором наблюдается максимальная производительность по готовому классу (не более 0,074 мм), что ведет к снижению энергопотребления измельчительного агрегата.

Предложена блок схема реализации системы управления частотой вращения барабана мельницы с подробным описанием алгоритма функционирования каждого блока входящего в данную систему управления. Также, в данной главе проводится исследование разработанных контуров управления в пакете прикладных программ MATLAB, получены графики изменения основных параметров и проведен их анализ.

Была получено переходные характеристики перегрузки барабана мельницы и зависимость перегрузки от частоты вращения барабана. Расчеты производились в прикладном программе MathCAD.

Также, проводится исследование автономной станции электроснабжения для использования его в качестве источника электроэнергии для синхронного привода барабана мельницы. Использование данной станции электроснабжения позволит обеспечить бесперебойную работу измельчительного агрегата, а также существенно снизить нагрузку на сеть электроснабжения предприятия. В главе проводится вывод необходимых требований к станции электроснабжения, а также исследование системы автоматического регулирования положения мертвых точек поршня свободнопоршневого дизельного гидронасоса, входящим в АСЭС.

Предложена структура АСУ ТП измельчительного агрегата, позволяющая решить задачи стабилизации выхода фракции требуемого класса крупности в готовом продукте мельницы, установление и поддержание рационального режима измельчения и стабилизацию плотности пульпы готового продукта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научно-техническая задача разработки системы автоматического управления измельчением золотоносных руд в мельнице, позволяющая с использованием регулирования на основе автоматической идентификации и оптимизации состояния объекта управления стабилизировать производительность по готовому классу и минимизировать удельный расход электроэнергии.

Внедрение системы автоматизации (СА) процесса измельчения обогатительной фабрики горно-обогатительного комплекса позволит повысить технологические показатели работы обогатительного передела, увеличить извлечения металлов, повысить качество выпускаемых фабрикой концентратов за счет эффективного управления технологическими процессами с помощью контроллеров и применения современной измерительной техники.

Повышение производительности труда в значительной степени связано с внедрением электронно-вычислительных машин, средств и методов технической кибернетики.

Немаловажная роль в эффективности автоматизации процессов принадлежит первичным приборам: датчиками, манометрам, уровнемерам, концентромерам и т.д. Вопрос их надежности и точности должен решаться в первую очередь, иначе попытка автоматизации процесса закончится полным провалом.

Все коэффициенты, применяемые в регуляторах, получены статистическим методом при обработке результатов пассивного эксперимента с мельничными блоками цеха измельчения. Из схемы управления видно, что основными факторами управления являются автоматизированное регулирование количества исходной руды в питании

ММС и МШЦ при постоянстве плотности пульпы на её сливе и автономное регулирование плотности слива классификатора. Введена обратная связь по поддержанию постоянства коэффициента циркулирующей нагрузки для стабилизации всего процесса в целом.

Основные научные и практические результаты, полученные автором:

- Проведен анализ состояния проблемы оптимального управления технологическим процессом измельчения золотосодержащих руд.

- Разработан алгоритм автоматической идентификации основного параметра процесса измельчения, позволяющий в темпе реального времени находить в явном виде передаточную функцию объекта управления.

- Разработана система автоматического регулирования плотности пульпы.

- Разработана многоконтурная система автоматического управления параметрами процесса измельчения в шаровой барабанной мельнице, позволяющая на основе алгоритма параметрической идентификации адаптивно стабилизировать массовый расход готового продукта мельницы требуемого фракционного состава.

- Разработан алгоритм в контуре управления частотой вращения барабана шаровой барабанной мельницы, позволяющий поддерживать рациональный режим измельчения в зависимости от загрузки мельницы, что ведет к снижению энергопотребления процесса измельчения.

Таким образом, создана модель системы регулирования технологического процесса измельчения руды, позволяющая значительно упростить диспетчерской управление процессом, получать максимальную производительность оборудования.

Полученные результаты в диссертационной работе могут быть использованы при чтении предметов «Автоматизация технологических процессов» и «Контроль и управление систем автоматизированного проектирования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумов К.А. «Проектирование обогатительных фабрик», М.: «НЕДРА», 2006 г.
2. Фишман М.А., В.И. Зеленов « Практика обогащения руд цветных и редких металлов», М.: «НЕДРА», 1997г. 204 с.
3. Поваров А.И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках. – М.: Недра, 1998. 278 с.
4. Кизимов Ф.П., Хлопенко В.Ф. Совершенствование схем измельчения на ГМЗ-2. /Цветные металлы. 1999. №7 С.45-49
5. Шамин В.Ю., Богородский М.П. Опыт эксплуатации шламовых насосов на ГМЗ-2. /Цветные металлы. 1999. №7 С.94-97.
6. Певзнер Л.Д., Леттиев О.А., Костиков В.Г. Автономные системы электроснабжения для автоматизации горного производства// Депонированная рукопись объемом 17 стр. издательства «Горная книга» справка № 838/09-11 от 30 июня 2011.
7. Разрушение, т.7: Разрушение неметаллов и композитных материалов. Часть 1. Неорганические материалы. Под ред. Г. Либовица. Пер. с англ. - М.: Изд-во «Мир», 1986. - 634 с.
8. А.Дж.Линч Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление. - М.: НЕДРА, 1991, 343 с.
9. Кафаров В.В., Вердиян М.А. Математические модели структуры потока материала в мельницах. - М.: Цемент, 1987; -№5. - С. 9 - 11; - №6.
10. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учебное пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1991, 400с.
- 11.Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. М.: Наука, 1985.
- 12.Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.:ГОСХИМИЗДАТ, 2001.-332 с.
- 13.Нестеров Г.С. Технологическая оптимизация обогатительных фабрик. М.: «НЕДРА», 1996. - 120 с.
- 14.Серго Е.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: «НЕДРА», 1985. - 285 с.

15. Колмогоров А.Н. О логарифмическом нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении.// ДАН СССР, 1971.- Т.34,- №2,-С.99-101.
16. Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А. Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава,- М.: Недра, 1969.-437 с.
17. Непомнящий Е.А. Кинетика измельчения.// Теор. основы хим. технологии, 1987,- Т.1 1.- № 3,- С.477-480.
18. Непомнящий Е.А. Закономерности тонкодисперсного измельчения, сопровождаемого агрегированием частиц.// Теор. основы хим. технологии, 1988,-Т. 12,-№ 4,-С.576-580.
19. Кафаров В.В., Дорохов, И.Н., Дудоров А.А. Моделирование физико- химических процессов в полидисперсных средах на основе методов статистической механики.// ДАН СССР, 1984,- Т.218,- № 4,- С.900-903.
20. Лапаев И.И., Буралков А.А. Автоматизация технологических процессов металлургических предприятий: Учебно-методическое пособие. Красноярск: ГАЦМиЗ, 1998. - 136 с.
21. Верхотуров М.В., Пехова Л.П., Колесникова Т. А. Дробление, измельчение и подготовка руд к обогащению. Красноярск: ГОУ ВПО «Государственный университет цветных металлов и золота», 2005. - 106с.
22. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. Издание второе, переработанное. М.: «ХИМИЯ», 1977. - 368 с.
23. Ходаков Г.С. Физика измельчения. М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «НАУКА», 1982. - 308 с.
24. Аккермаи Ю.Э., Букаты Г.Б., Кщевальтер Б.В. и др. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. Издание второе, переработанное и дополненное. М.: «НЕДРА», 1982. - 367 с.
25. Винников В.А., Каркашадзе Г.Г. Гидромеханика. М.: Издательство МГГУ, 2003.-302с.
26. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных систем. М.: Издательство МЭИ, 2000. - 374 с.
27. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Часть 1. М.: «НАУКА», 1995. - 641 с.
28. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Механика турбулентности. Часть 2. М.: «НАУКА», 1985. - 720 с.

29. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Часть 1. М.: «НАУКА», 1987.- 464 с.
30. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Часть 2. М.: «НАУКА», 1987.- 360 с.
31. Шокин И.Ю. Ударно-волновые процессы в двухкомпонентных и двухфазных средах. Новосибирск: ВО «НАУКА», 1992. - 261 с.
32. Мельников Н.В., Ржевский В.В., Протодьяконов М.М. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. М.: «Недра», 1975. - 279 с.
33. Здорик Т.Б., Матиас В.В., Тимофеев И.Н., Фельдман Л.Г. Минералы и горные породы СССР. М.: «Мысль», 1990. - 248 с.
34. Кларк С. мл. Справочник физических констант горных пород. М.: «МИР», 2000.-544 с.
35. Вареных Н.М., Веригин А.Н., Джангирян В.Г., Ишутин А.Г. Химико- технологические агрегаты механической обработки дисперсных материалов. Санкт-Петербург: Издательство СПбГУ, 2002. - 482 с.
36. Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П. Сопротивление материалов. Издание третье, исправленное. М.: «Высшая школа», 2003.
37. Замышляев Б.В., Евтерев Л.С. Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред. М.: «НАУКА», 1990.
38. Евменова Г.Л. и др. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. Кемерово: ГУ КузГТУ, 2005. - 96 с.
39. Трухачев С.С. Совершенствование шаровых барабанных мельниц двухстадийного цикла измельчения. Белгород: Издательство БГТУ им. В.Г.Шухова, 2010.-187 с.
40. Борщев В.Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы. Учебное пособие. Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. - 75с.
41. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: «Недра», 1980. - 415 с.
42. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. Ленинград: «Химия», 1987. - 265 с.
43. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц. М.: «Машиностроение», 1995.-184 с.
44. Щупляк И.А. Измельчение твердых материалов в химической промышленности. Ленинград: «Химия», 1972. - 64 с.

- 45.Тимонин А.С. Машины и аппараты химических производств. Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2008. - 872 с.
- 46.Пони́каров И.И. и др. Расчеты машин и аппаратов химических производств и нефтегазопереработки. М.: Альфа-М, 2008. - 720 с.
- 47.Утеуш Э.В., Утеуш З.В. Управление измельчительными агрегатами. М.: Машиностроение, 1973. - 280 с.
- 48.СО 34.10.125-98 (РД 153-34.0-10.125-98) Обобщенные нормы расхода и запаса быстроизнашиваемых элементов молотковых, шаровых барабанных мельниц и мельниц-вентиляторов. Утв. Департаментом стратегии развития и научно-технической политики РАО «ЕЭС России» 25.06.98; Разраб. АО «Фирма ОРГРЭС»; Ввод в действ, с 2001-01-29. - М.: СПО ОРГРЭС, 2001. - 19 с.
- 49.Левин В.А., Морозов Е.М., Матвиенко Ю.Г. Избранные нелинейные задачи механики разрушения. М: ФИЗМАТ ЛИТ, 2004. - 408 с.
- 50.Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: «НАУКА», 1988.-712 с.
- 51.Колмогоров В.Л. Напряжения. Деформации. Разрушение. М.: «Металлургия», 1970. - 229 с.
- 52.Нотт Дж.Ф. Основы механики разрушения. М.: «Металлургия», 1978. - 256 с.
- 53.Партон В.З. Механика разрушения от теории к практике. М.: «Наука», 1990.-240 с.
- 54.Партон В.З., Борисковский В.Г. Динамика хрупкого разрушения. - М.: Машиностроение, 1988. - 240 с.
- 55.Гольдштейн Р.В. Пластичность и разрушение твердых тел. М.: «НАУКА», 1998.-200 с.
- 56.Морозов Н.Ф., Петров Ю.В. Проблемы динамики разрушения твердых тел. Санкт-Петербург: Издательство СПбГУ, 1997. - 132 с.
- 57.Markus J. Buehler, Huajian Gao Dynamical fracture instabilities due to local hyperelasticity at crack tips Nature, January 19, 2006, p.307-310
- 58.Самко С.Г., Килбас А.А., Маричев О.И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. - Минск: Наука и техника, 1997.-688 с.
59. Richardson L.F. Atmospheric diffusion shown on a distance-neighbor graph // Proc. Roy. Soc. London. 1926. V. A1 10. № 756. P. 709-737.

- 60.Кобелев В.Л., Романов Е.П., Кобелев Я.Л. и др. Недебаевская релаксация и диффузия во фрактальном пространстве // Доклады Академии наук, 1998, том 361, № 6. - С. 755-758.
- 61.Fox C. The C and H Functions as Symmetrical Fourier Kernels // Trans.Amer. Math. Soc, V.98, 1971, №3. - P.395-429.
- 62.Broadbent S.R., Hammersley J.H. Percolation processes, I. Crystals and mazes // Proc. Camb. Phil. Soc. — 1987. — Vol. 53. — P. 629—641.
- 63.Robinson P.C Connectivity of fracture systems-a percolation theory approach // Journal Physics. A. Ser.2. 1993. V.16.- P. 605-614
64. G.K. Batchelor Diffusion in a field of homogeneous turbulence// Proc. Cambridge Phil. Soc. 1972, № 48, P. 345-362
- 65.Niemeyer L., Pietronero L., Wiesmann H.J. Fractal Dimension of Dielectric Breakdown // Physical Review Letters, Vol. 52, 1984, №12. - P. 1033-1036.
66. Титчмарш Э.Ч. Разложения по собственным функциям, связанные с дифференциальными уравнениями второго порядка. Том 1. - М.: Издательство иностранной литературы, 1990. - 279 с.
67. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.:ГИТТЛ, 1953.-679 с. 68.Соколов И.М. Размерности и другие геометрические критические показатели в теории протекания. М.: "УФН", 1986, т. 150, вып.2. - с. 221.
69. Левитан Б.М. Разложение по собственным функциям дифференциальных уравнений второго порядка. - М.-Л.: ГИТТЛ, 1970.
- 70.Смирнов С.Ф. Разработка научных основ процессов формирования фракционных массопотоков в технологических системах измельчения. - Иваново: ИГАСУ, 2009. - 261 с.
- 71.Гольдштейн Р.В., Ентов В.М. Качественные методы в механике сплошных сред. М.: «НАУКА», 1989. - 224 с.
- 72.Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. С.: Главполиграфиздат, 2000.-676с.
- 73.Веригин, А. Н. Кристаллизация в дисперсных системах / А. Н. Веригин, И. А. Щупляк, М. Ф. Михалев. — С. : Химия, 1996. — 247 с.
- 74.Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П., Найдёнов А.П. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии// Цветные металлы, 2005, №10, С. 54 - 59

75. Жужжалов В.Е., Солдатов В.В., Маклаков В.В., Жиров М.В. Технические средства автоматизации. Учебное пособие. М.: МГУТиУ, 2004. - 76 с.
76. Утеуш Э.В., Утеуш З.В. Основы автоматизации измельчения материалов в шаровых мельницах. М.: «Химия», 1968. - 156 с.
77. Фафурин В. А., Терюшов И.Н. Автоматизация технологических процессов и производств. Казань: Издательство Казанского государственного технологического университета, 2008. - 552 с.
78. Михалев М.Ф., Третьяков Н.П. и др. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Ленинград: «Машиностроение», 1984.-301 с.
79. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Ленинград: «Машиностроение», 1970.-752 с.
80. Сажин Ю.Г. Расчеты рудоподготовки обогатительных фабрик. Алматы: КазНТУ, 2000.-179 с.
81. Тихонов О.Н. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик. М.: «Недра», 1988. - 341 с.
82. Полькин СИ., Адамов Э.В. Обогащение руд цветных и редких металлов. М.: «Недра», 1975. - 461 с.
83. Алгебраистова Н.К., Кондратьева А.А. Технология обогащения руд цветных металлов. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. - 283 с.
84. Генералов М.Б. Механика твердых дисперсных сред в процессах химической технологии. Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2002. - 592 с.
85. Кулак М.И. Фрактальная механика материалов. М.: «Высшая школа», 2002. - 304 с.
86. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: «МИР», 1975. - 271с.
87. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обогатительных фабрик. Издание второе, переработанное и дополненное. М.: «Недра», 1965, 504 с.
88. Саврук М.П. Двумерные задачи упругости для тел с трещинами. Киев: Наук. Думка, 1981.-324 с.
89. Чернышев С.Н. Трещины горных пород. М.: «НАУКА», 1983. - 240 с.

90. Гузь А.Н., Зозуля В.В. Хрупкое разрушение материалов при динамических нагрузках. Киев, Наук. Думка, 1993. - 240 с.
91. Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 328 с.
92. Дворецкий СИ., Егоров А.Ф., Дворецкий Д.С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования. Тамбов: Издательство ТГТУ, 2003. - 224 с.
93. Новиков Д.А. Математическое моделирование переходных процессов и предельных циклов движения виброударных систем с разрывными характеристиками. Ульяновск: УГТУ, 2011. - 193 с.
94. Натарева СВ. Моделирование и расчет процессов химической технологии. Учебное пособие. Иваново: ИГХТУ, 2008. - 144 с.
95. Свириденко П.А., Шмелев А.Н. Основы автоматизированного электропривода. М.: «Высшая школа», 1970. - 392 с.
96. Волков В.Д. Синтез линейных систем автоматического управления: учебное пособие. М-во образования и науки Рос. Федерации, Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т. - Воронеж : Изд-во ВГАСУ, 2004.
97. Алексеев А.А., Имаев Д.Х., Кузьмин Н.Н., Яковлев В.Б. Теория управления: Учеб./ СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999.
98. Справочник по теории автоматического управления/Под ред. А.А. Красовского. - М.: Наука, 1987. - 712 с.
99. Весткотт Д.Г., Флорентин Д.Д., Пирсон Д.Д. Приближенные методы теории оптимальных и самонастраивающихся систем/: Тр. II Междунар. Конгресса. ИФАК. - М.: «НАУКА», 1965.- с. 39-54
100. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление.- М.: «НАУКА», 1978.-396 с.
101. Сивохин А.В., Мещеряков Б.К. Решение задач оптимального управления с использованием математической системы MATLAB. Пенза: Издательство Пензенского государственного университета, 2006. - 120 с.
102. Степка Р. Модернизированная энергосиловая продукция группы Бумар-Польша // Горная промышленность, 2005, №4. - С. 28-29.
103. Костиков В.Г. Автономная система электроснабжения подвижных радиолокационных комплексов//Сб. докл. -III Всерос. н.-т. семинара «Состояние и перспективы развития систем электроснабжения и СВЭП объектов вооружения и военной техники», Минобороны РФ, 1996.- С. 43-44.