

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра автоматизации производственных процессов в металлургии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т.В. Донцова  
подпись

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**Использование нейросетевого моделирования для прогнозирования  
технологических параметров измельчения золотосодержащей руды**

Направление 27.04.04 Управление в технических системах  
Магистерская программа 27.04.04.02 Автоматизация и управление  
техническими системами в металлургии

Научный  
руководитель \_\_\_\_\_ доцент, канд. техн. наук Г.Б. Данькина  
подпись, дата

Выпускник \_\_\_\_\_ В.А. Якимчук  
подпись, дата

Рецензент \_\_\_\_\_ главный научный сотрудник  
отдела вычислительной  
математики ИВМ СО РАН,  
д-р физ.-мат. наук В.М. Белоліпецкий  
подпись, дата

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Г.Б. Данькина  
подпись, дата

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра автоматизации производственных процессов в металлургии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Т.В. Донцова

подпись

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме магистерской диссертации**

Студенту Якимчуку Владиславу Александровичу

Группа ЦМ18-37М Направление 27.04.04

Управление в технических системах

Тема выпускной квалификационной работы «Использование

нейросетевого моделирования для прогнозирования технологических

параметров измельчения золотосодержащей руды»

Утверждена приказом по университету № 6264/с от 19.05.2020 г.

Руководитель ВКР Г.Б. Данькина, канд. техн. наук, доцент каф. АППМ

Исходные данные для ВКР материалы практик, научно-исследовательской работы, патенты, научные статьи, тезисы.

Перечень разделов ВКР: Технология процессов дробления и измельчения,

Автоматизация процесса измельчения, Корреляционно- регрессионный

анализ для определения зависимостей между технологическими параметрами,

Нейросетевое моделирование для прогнозирования параметров мельницы.

Перечень графического материала \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_  
подпись

Г.Б. Данькина

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_  
подпись

В.А. Якимчук

« 20 » февраля 2020 г.

## АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация по теме «Использование нейросетевого моделирования для прогнозирования технологических параметров измельчения золотосодержащей руды».

В рассматриваемой работе затрагивается проблема снижения энергопотребления мельничных агрегатов путем прогнозирования значений параметров, влияющих на процесс измельчения.

В первой главе работы описывается технология процессов дробления и измельчения, рассмотрено оборудование этих процессов.

Во второй главе описана автоматизация процесса измельчения, структура АСУ ТП, рассмотрены особенности управления отделением рудоподготовки и обогащения.

В третьей главе проведен корреляционно-регрессионный анализ для определения зависимостей между технологическими параметрами.

В четвёртой главе выполнено нейросетевое моделирование и разработаны модели для прогнозирования параметров мельницы.

Внедрение разработанных нейросетевых моделей в алгоритм управления позволит улучшить качество управления процессом производства золота на ОГОК АО «Полюс».

ДРОБЛЕНИЕ, ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ, МЕЛЬНИЦА, АСУ ТП, КОРРЕЛЯЦИЯ, РЕГРЕССИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, НЕЙРОСЕТЬ.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Технология процессов дробления и измельчения .....	6
1.1 Выбор схемы измельчения.....	6
1.2 Оборудование процессов дробления и измельчения .....	12
1.3 Описание технологического процесса ОРПиО ЗИФ-4 ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2 Автоматизация процесса измельчения .....	34
2.1 Назначение и общие функции АСУ ТП .....	34
2.2 Описание системы АСУ ТП.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2.1 Структура и назначение частей системы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2.2 Нижний уровень системы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2.3 Средний уровень системы .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2.4 Верхний уровень .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.3 Функциональная структура АСУ ТП... ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4 Управление отделением рудоподготовки и обогащения.....	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.</b>	
2.4.1 Мельница как объект управления ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.2 Вибропитатели .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.3 Конвейеры ленточные .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.4 Мельница полусамоизмельчения ...	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.5 Конусная дробилка .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.6 Мельницы с центральной разгрузкой .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.7 Станция маслосмазки .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4.8 Гидроподпор мельниц .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.5 Режимы управления, контроля и визуализация.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3 Корреляционно-регрессионный анализ для определения зависимостей между технологическими параметрами.....	72
3.1 Анализ параметров процесса .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.2 Анализ выборки при помощи корреляции и регрессии.	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
4 Нейросетевое моделирование для прогнозирования параметров мельницы ..	88
4.1 Построение нейронной сети для выходного параметра «Потребляемая мощность».....	88
4.2 Построение нейронной сети для выходного параметра «Температура обмотки статора 1» .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

Список использованных источников .....	105
--	-----

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** Широкое внедрение автоматике во все отрасли является следствием научно-технического прогресса, который привел к резкому возрастанию мощностей технологических установок, взаимной связи многих агрегатов и технологических процессов, росту скоростей работы механизмов и установок. В этих условиях человек уже не может осуществить управление, тем более не может обеспечить оптимальное функционирование систем машин и процессов. Таким образом, автоматика, будучи следствием научно-технической революции, вместе с тем является и необходимым ее условием.

Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик обеспечивает значительный технико-экономический эффект вследствие:

- повышения извлечения полезных компонентов из исходного ископаемого (руды, угля, нерудных полезных ископаемых и др.);
- повышения качества концентрата, в частности стабилизация качества (что очень важно, например, для последующей металлургической переработки концентратов);
- повышения производительности машин и агрегатов, пропускной способности транспортных коммуникаций, увеличения надежности и сроков работы машин;
- сокращения расхода материалов и энергии, повышения производительности труда путем снижения трудоемкости обслуживания агрегатов и возрастания их производительности [1].

Рудоподготовка должна соответствовать, с одной стороны, условиям флотационного или гравитационного процесса, а с другой – минералогическому составу и физико-механическим свойствам руды. Во всех случаях способы подготовки руды должны быть экономичными и менее энергоемкими, так как затраты средств только на дробление и измельчение руды составляют 60 % общих капитальных вложений и до 50 % эксплуатационных расходов обогатительных фабрик [2].

Поэтому актуальным направлением исследования является снижение энергопотребления мельничных агрегатов путем прогнозирования значений параметров, влияющих на процесс измельчения.

**Объектом исследования** является автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) отделения рудоподготовки и обогащения (ОРПиО) золотоизвлекательной фабрики 4 (ЗИФ-4) Олимпиадинского горно-обогатительного комбината (ОГОК) АО «Полюс».

**Целью** диссертационной работы является разработка нейросетевых моделей для повышения эффективности управления процессами дробления и измельчения в условиях Олимпиадинского горно-обогатительного комбината.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

- изучение технологических особенностей процесса измельчения;
- изучение конструктивных особенностей основного технологического оборудования ОРПиО;

- сбор данных о параметрах процесса измельчения и их предварительная обработка;
- корреляционно-регрессионный анализ и разработка регрессионной модели для определения связи между параметрами мельницы;
- исследование особенностей нейросетевого моделирования и алгоритмов обучения модели;
- разработка нейросетевых моделей для прогнозирования значений параметров, влияющих на процесс измельчения.

**Новизна работы:**

- методом корреляционно-регрессионного анализа разработана модель связи между параметрами мельницы отделения рудоподготовки ОГОК АО «Полус»;
- разработаны нейросетевые модели для прогнозирования значений параметров, влияющих на процесс измельчения.

**Практическая значимость** работы заключается в следующем. Внедрение разработанных нейросетевых моделей в алгоритм управления позволит улучшить качество управления процессом производства золота на ОГОК АО «Полус».

**Личный вклад автора** заключается в:

- проведении анализа литературных и патентных источников;
- сборе и предварительной подготовке (обработке) экспериментальных данных;
- определении регрессионно-корреляционных зависимостей между технологическими параметрами;
- использовании нейросетевого моделирования для прогнозирования параметров мельницы.

**Публикации.** В процессе разработки диссертации принято участие в Международной научной конференции молодых учёных «Перспектив свободный-2019» и Международной научной конференции молодых учёных «Перспектив Свободный-2020» с публикацией тезисов.



## **1 Технология процессов дробления и измельчения**

В работе исследуются технологические процессы обогатительных фабрик, а именно процессы дробления и измельчения.

Дробление и измельчение – процессы уменьшения размеров кусков (зерен) полезных ископаемых путем разрушения их действием внешних сил. Принципиально процессы дробления и измельчения не различают между собой. Условно считают, что при дроблении получают продукты преимущественно крупнее 5 мм [3].

Процессы дробления и измельчения являются основными операциями перед циклом обогащения.

Операции дробления применяются для подготовки полезного ископаемого к измельчению в мельницах. Дробление сырья производится в щековых, валковых, молотковых, роторных и конусных дробилках.

Измельчение и классификация сырья производятся в стержневых и шаровых мельницах, а также в мельницах мокрого измельчения. Мельница и классификатор могут работать последовательно, отдельно или в замкнутом цикле друг с другом. Качество подготовленного продукта перед обогащением играет большую роль для дальнейшего извлечения золота, так как от размера твердых частиц будет зависеть скорость их осаждения в гидроциклоне. Гидроциклон, в свою очередь, осуществляет разделение или классификацию твердых частиц, содержащихся в пульпе. [4].

### **1.1 Выбор схемы измельчения**

Выбор схемы дробления зависит от принятой схемы последующего измельчения и производится с учетом физических свойств и особенностей исходной руды (крепости, трещиноватости, наличия готового по крупности продукта, влажности, глинистости), возможности предварительной концентрации руды в процессе рудоподготовки. Схема дробления руды представляет собой стадийный процесс сокращения ее крупности от начального до конечного размера, оптимального для последующего измельчения или предварительного обогащения (например, в тяжелых суспензиях).

Максимальная крупность кусков конечного дробленого продукта, поступающего на измельчение, не должна превышать для мельниц рудного само или полусамоизмельчения 300-350 мм; для стержневых мельниц – 15-20 мм; для шаровых – 10-13 мм. При использовании стержневых и шаровых мельниц и открытого цикла в последней стадии дробления она может быть повышена при переработке трещиноватых, легкоразрушающихся в начальной стадии измельчения, а также глинистых сильно каолинизированных и влажных руд. Конечные продукты дробления необходимой крупности получают при работе обычных конусных дробилок (КМД) в замкнутом цикле с грохотами или в открытом цикле при условии применения в дробилках КМД футеровок специальной конструкции (продукт – 20 мм) и инерционных дробилок (продукт – 10-12 мм).

В зависимости от способа добычи руды и процесса (способа) рудоподготовки – рудного самоизмельчения или измельчения мелкодробленной руды стальной средой, а также производительности фабрики схема может иметь одну, две или три стадии дробления.

Схемы измельчения отличаются большим разнообразием по числу стадий, характеру технологического процесса, числу и назначению операций классификации. Выбор схемы измельчения, наиболее рациональной для данной руды и объекта в целом, определяется [2]:

- конечной (и промежуточной) крупностью измельчения руды, позволяющей при оптимальных условиях флотации (по реагентному режиму, плотности пульпы, типу флотационных машин и др.) получить отвальные хвосты и черновой (монометаллический или коллективный) концентрат;

- вещественным составом и физическими свойствами (крупностью и характером вкрапленности минералов, крепостью и измельчаемостью, наличием первичных шламов и склонностью к переизмельчению, формой и трудностью или легкостью разрушения крупных фракций дробления руды в начале процесса измельчения);

- наличием в руде благородных металлов;

- производительностью фабрик;

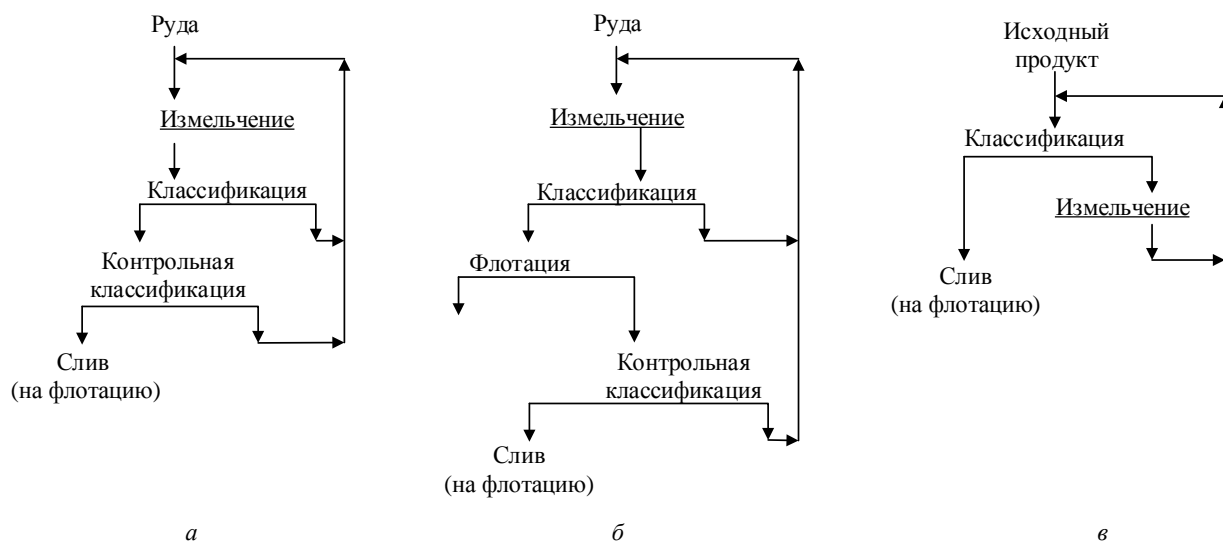
- стоимостью электроэнергии и измельчающей среды.

Совокупность перечисленных факторов определяет также стадийность схемы измельчения и необходимость включения в нее межцикловых операций обогащения (пенной сепарации, флотации, гравитации), аэрации и выделения первичных шламов.

Схема измельчения в барабанных мельницах с использованием в качестве измельчающей среды стальных стержней и шаров находят наибольшее применение на действующих фабриках и продолжают быть основными при проектировании и строительстве новых фабрик.

Для моно- и полиметаллических руд, не склонных к переизмельчению и ошламованию, с крупной и равномерной вкрапленностью полезных минералов (или с их агрегатным срастанием), для которых достаточно крупного измельчения, принимают при любой производительности фабрики одностадийную схему измельчения в шаровых мельницах.

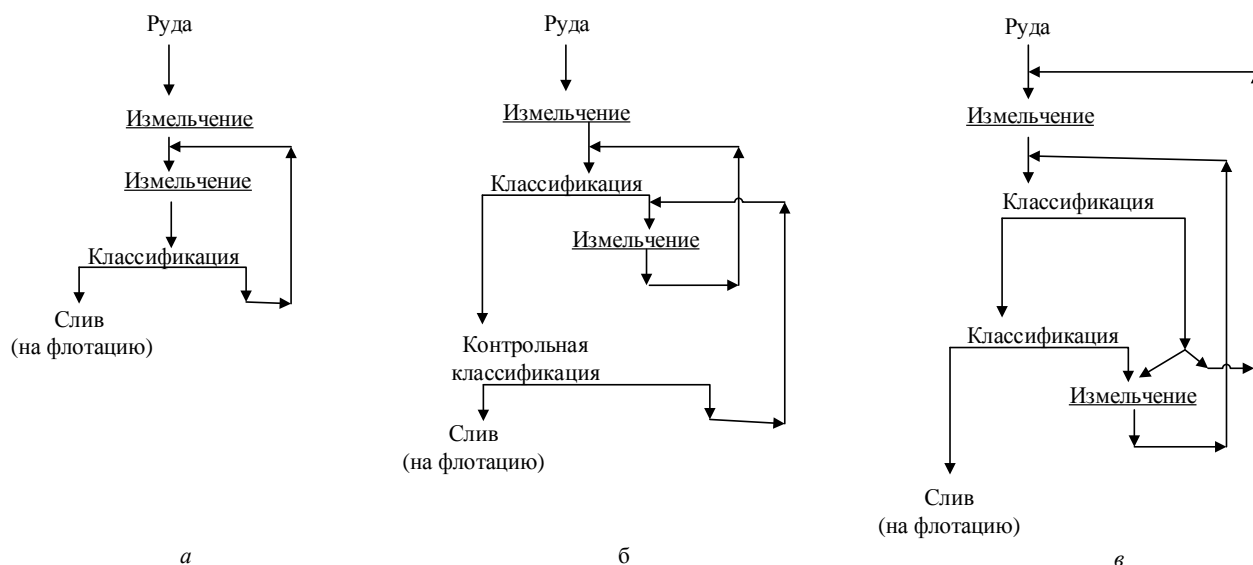
Одностадийное измельчение наиболее устойчиво, легко автоматизируется, проще и надежнее в эксплуатации (рисунок 1.1).



а – с одним, б, в – с двумя приемами классификации

Рисунок 1.1 – Одностадиальные схемы измельчения

Технологическое преимущество двух- и трехстадийных схем – меньшее ошламование полезных минералов, склонных к переизмельчению, и возможность включения межцикловых операций обогащения (рисунок 1.2, 1.3).



а, б – с частично замкнутым циклом; в – с полностью замкнутым циклом

Рисунок 1.2 – Двухстадиальные схемы измельчения

Схемы с замкнутым циклом в 1 стадии измельчения (рисунок 1.3) применяют при необходимости получения более тонкоизмельченного продукта или использования межцикловой флотации.

Схема рудоподготовки (рисунок 1.4) включает в себя две параллельные линии измельчения и классификации. До измельчения руда проходит этап дробления (рисунок 1.5).

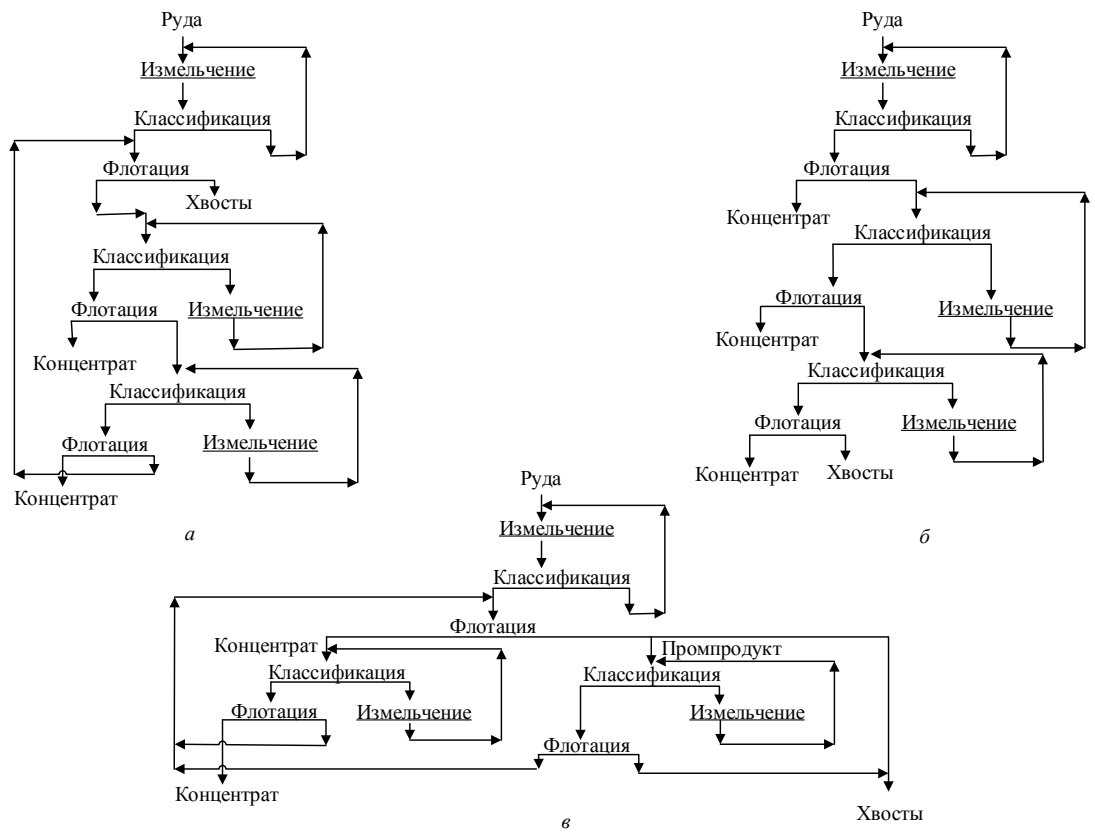


Рисунок 1.3 – Принципиальные трехстадийные схемы измельчения и флотации

Изъятие страниц 9-11

## 1.2 Оборудование процессов дробления и измельчения

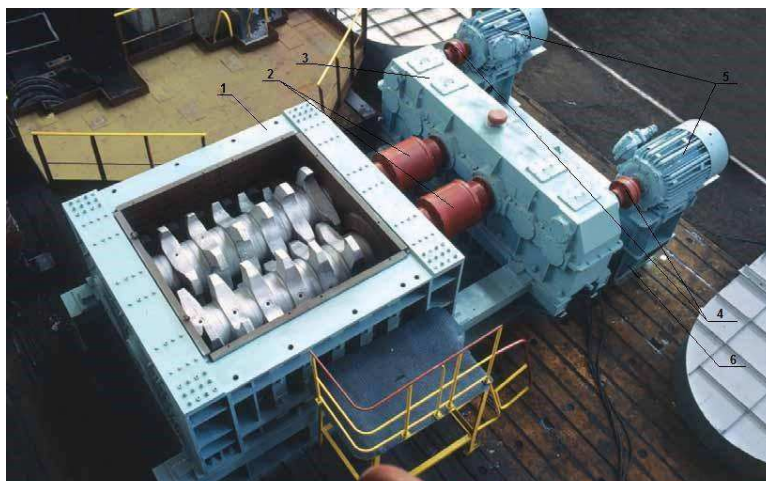
Чтобы иметь представление о том, как происходит добыча золота из руды, необходимо рассмотреть оборудование процессов дробления и измельчения, а также принципы их работы.

ОРПиОР содержит следующее оборудование [6]:

- дробилки;
- мельницы;
- питатели пластинчатые;
- конвейеры ленточные стационарные;
- питатели вибрационные;
- гидроциклоны;
- насосы.

Рассмотрим оборудование для процессов дробления.

Общее устройство, основные габариты и установочные размеры шнеко-зубчатой дробилки ДШЗ-100/320-У приведены на рисунке 1.8.



1 – корпус дробильный; 2 – зубчатые муфты; 3 – редуктор;  
4 – муфты с высокоэластичной оболочкой; 5 – электродвигатели; 6 – рама

Рисунок 1.8 – Шнеко-зубчатая дробилка ДШЗ-100/320-У

Рабочий орган дробилки – корпус дробильный. Он представляет собой сварную раму, в которой на подшипниках качения установлены два зубчатых шнека. Внутренняя поверхность рамы дробильного корпуса футерована съемными бронями с износостойкой наплавкой.

Зубчатый шнек выполнен в виде вала с насаженными на него на шпонках зубчатыми дисками. Зубья на дисках съемные, изготовлены из высокомарганцовистой стали. Диски на валах расположены со смещением (поворот относительно вала) так, что вершины зубьев на них образуют винтовую линию.

При этом направление винтовых линий на шнеках – противоположное.

Привод дробилки состоит из редуктора и двух электродвигателей. Электродвигатели соединены с редуктором муфтами с высокоэластичными оболочками, шнеки дробильного корпуса с выходными валами редуктора – зубчатыми муфтами.

Вращение шнеков синхронизировано зубчатым зацеплением редуктора.

В процессе работы дробилки исходный дробимый материал подается на вращающиеся навстречу друг другу шнеки. Крупные куски захватываются зубьями, раздавливаются и в измельченном виде проходят через разгрузочную щель между шнеками вниз.

Мелкая фракция просыпается между зубьями шнеков без измельчения, как через разгрузочную щель, так и вдоль боковых стенок дробильного корпуса. За счет этого, в сравнении с другими типами дробилок существенно повышается суммарная производительность данной дробилки и снижается степень переизмельчения дробимого продукта.

Рабочие характеристики дробилки КМД Metso Nordberg NP4 напрямую зависят от способа ее питания. Максимальная производительность дробилки возможна только в случае подачи соответствующего количества материалов и их равномерного распределения в дробильной камере как по уровню, так и по гранулометрическому составу. Для правильной установки необходимо принять определенные меры предосторожности в отношении размещения системы питания; к примеру, необходимо предусмотреть все проведения операций обслуживания на указанной дробилке.

При неправильном питании (рисунок 1.9) материал в питание дробилки подается лишь с одной стороны питающего отверстия и плохо распределяется.

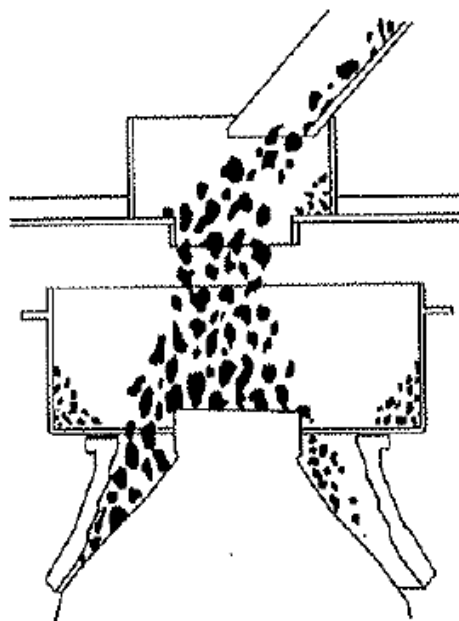


Рисунок 1.9 – Неправильное распределение питания

Последствия неправильного распределения:

- пониженная производительность;
- плоха калибровка измельченного материала, неравномерный гранулометрический состав;
- чрезмерные колебания регулировочного кольца;
- чрезмерное потребление мощности.

При правильном питании (рисунок 1.10) материал подается со всех сторон конуса дробилки, что приводит к тому, что дробилка работает под завалом.

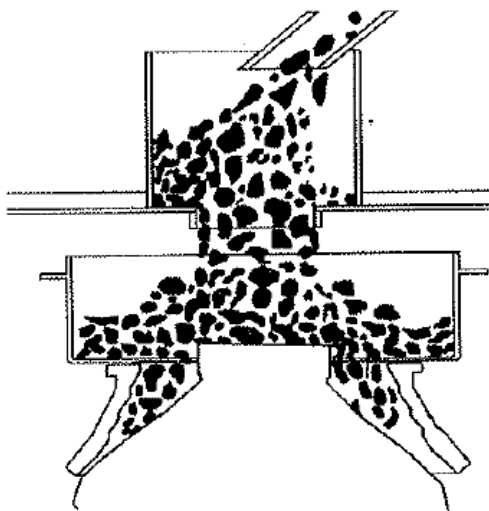


Рисунок 1.10 – Правильное распределение питания

Последствия правильного (равномерного) распределения:

- оптимальная производительность;
- производство хорошо откалиброванных материалов;
- отсутствие минимальных колебаний регулировочного кольца;
- оптимальное потребление мощности.

Общее устройство конической дробилки Metso Nordberg NP4 приведены на рисунке 1.11.

Конусные дробилки выгодно отличаются от щековых тем, что процесс дробления породы в них осуществляется непрерывно, то есть отсутствует холостой ход.

В конусных дробилкам материал дробится в кольцевом пространстве, образованном наружной неподвижной конической чашей и расположенным внутри этой чаши подвижным дробящим конусом, насаженным на вал.

Конический рабочий орган совершает вращательно-колебательное движение внутри чаши-основания, измельчая подаваемые в верхнюю загрузочную кольцевую щель породу. Готовый продукт удаляется под действием силы тяжести в нижнее разгрузочное отверстие [7].

Процесс измельчения является более сложным. Для получения частиц определенного размера требуется учитывать очень много технологических особенностей процесса и оборудования. Рассмотрим процесс измельчения.

Измельчение сырья производится в стержневых и шаровых мельницах, а также в мельницах мокрого и сухого измельчения.

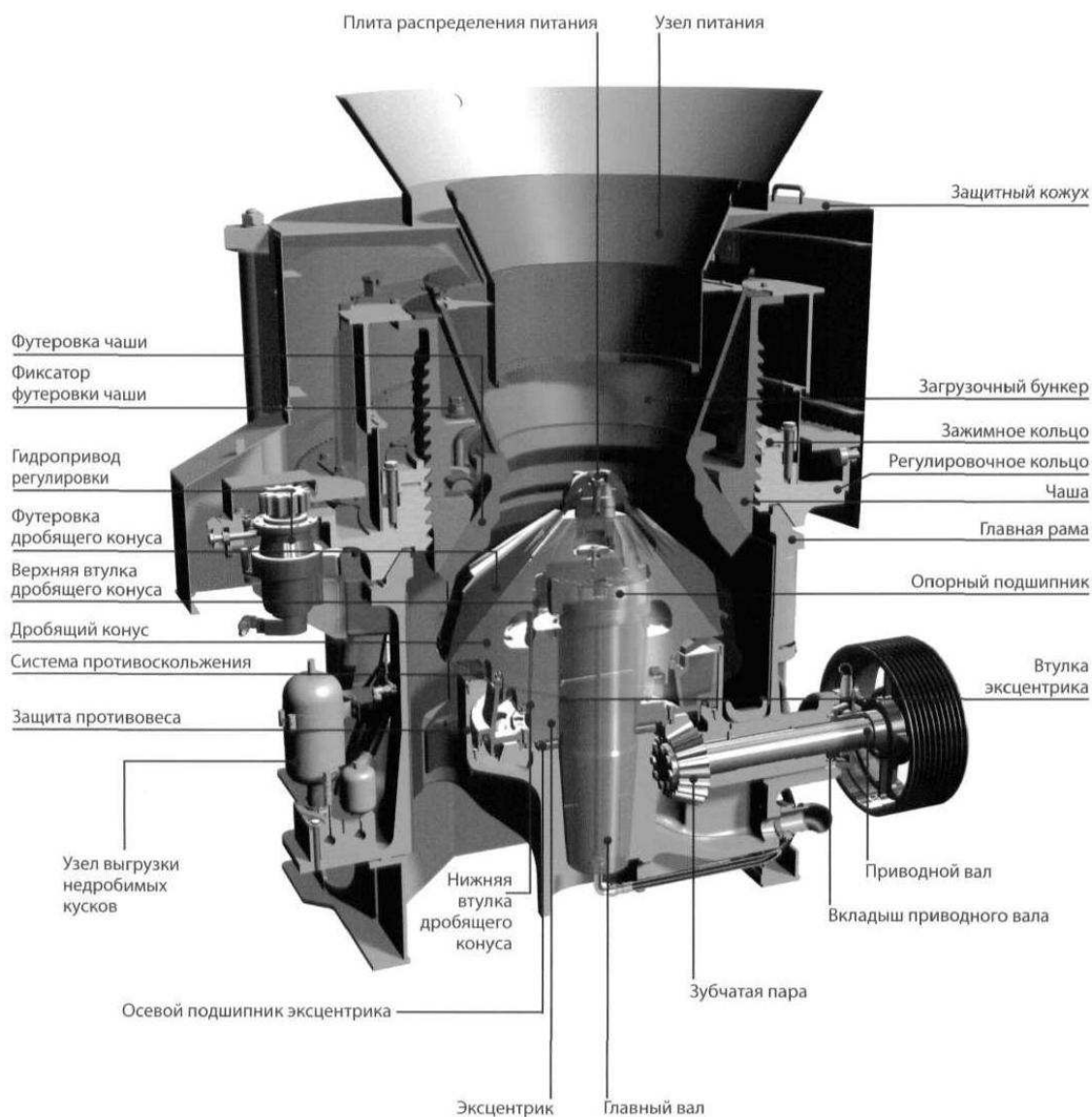


Рисунок 1.11 – Дробилка КМД Metso Nordberg HP4

Применяемые для измельчения различных материалов барабанные мельницы различаются по форме барабана, характеру среды и измельчающих тел, по способу разгрузки измельченного продукта и по принципу действия. На современных обогатительных фабриках применяются преимущественно мельницы с барабанами цилиндрической формы различной длины. Трубная мельница является разновидностью цилиндрической и отличается удлиненной формой барабана. В зависимости от характера среды барабанные мельницы бывают для сухого и для мокрого измельчения. В качестве измельчающих тел для барабанных мельниц применяются стальные шары и стержни, керамические шары, природная галька и крупные куски руды. По способу разгрузки измельченного продукта барабанные мельницы бывают с разгрузкой через решетку, с периферической разгрузкой и с центральной разгрузкой через полую цапфу. По принципу действия барабанные мельницы бывают вращающиеся, вибрационные и центробежные. Степень измельчения, так же, как и степень дробления, определяется отношением максимального размера зерен исходного продукта к максимальному размеру зерен (измельченного продукта).



Выделяют следующие режимы работы мельниц.

При повышении частоты вращения барабана до критической наступает момент, когда центробежные силы уравнивают силы тяжести мелющих тел, которые, не отрываясь, начинают вращаться вместе с внутренней поверхностью барабана, и измельчение руды практически прекращается.

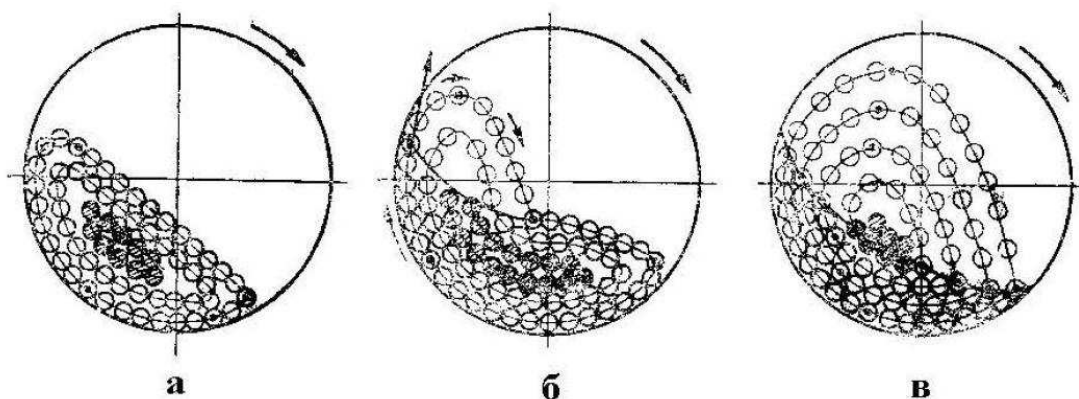
Критической частотой вращения барабана называют такую частоту, при которой мелющие тела прижимаются центробежной силой к внутренней поверхности барабана и вращаются вместе с барабаном, не отрываясь.

Критическая частота вращения вычисляется по формуле:

$$n_{кр} = \frac{42,3}{\sqrt{D}}, \text{ об/мин.}, \quad (1.1)$$

где  $D$  – диаметр барабана мельницы, м.

При работе мельницы частота вращения барабана должна быть меньше критической. В зависимости от частоты вращения барабана в мельнице создаются различные режимы измельчения (рисунок 1.12).



а – при каскадном режиме; б – при смешанном режиме; в – при водопадном режиме

Рисунок 1.12 – Схема движения мелющих тел в барабане мельницы

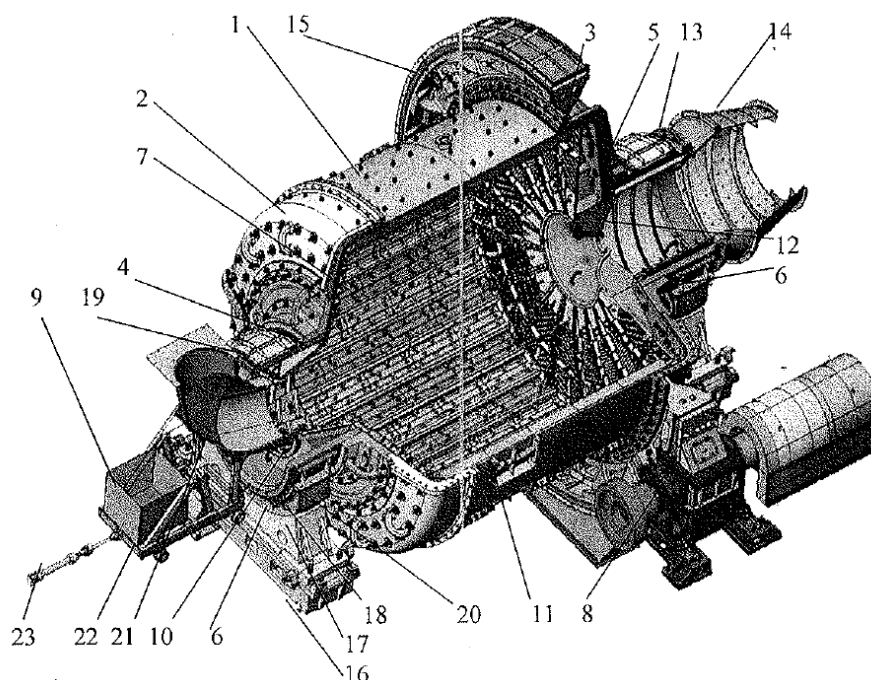
Если фактическая частота вращения барабана составляет не менее 0,76-0,88 критической, создается так называемый водопадный режим измельчения, когда основная масса мелющих тел поднимается вместе с внутренней поверхностью вращающегося барабана на некоторую высоту, а затем, отрываясь, свободно падает под действием сил тяжести по траекториям, близким к параболическим. Измельчение рудных зерен в данных условиях происходит преимущественно ударом. Водопадный режим применяется при измельчении более крупного материала (в первой стадии).

Смешанный режим измельчения характеризуется тем, что одна часть мелющих тел участвует в свободном полете, другая часть — перекачивается внутри барабана по замкнутым траекториям, подвергая руду измельчению ударом и истиранием. Смешанный скоростной режим имеет место при мокром измельчении руд в шаровых мельницах; скорость вращения составляет 0,6-0,76 от критической.

Каскадный режим наиболее тихоходный, скорость вращения барабана составляет 0,5-0,6 от критической. При измельчении в каскадном режиме свободный полет мелющих тел исключен. При установившемся каскадном режиме мелющие тела непрерывно циркулируют внутри барабана, поднимаясь по круговым траекториям на некоторую высоту, затем скатываясь под углом, близким к углу естественного откоса. При каскадном режиме руда измельчается преимущественно путем истирания.

Производительность барабанных мельниц зависит от диаметра, рабочего объема и скорости вращения барабана, от массы и размера мелющих тел, от конструктивных особенностей мельницы, от измельчаемости руды, от крупности исходного и измельченного материала, от выхода циркулирующего продукта, от плотности пульпы в исходном питании [8, 9, 10].

Мельница ММПС-7000х5200 состоит из собственно мельницы, смазочной системы и электрооборудования. Мельница представлена на рисунке 1.13.



- 1 – цилиндрический барабан; 2,3 – торцовые стенки; 4,5 – полые цапфы;
- 6 – коренные подшипники; 7 – футеровочные бронеплиты; 8 – привод;
- 9 – откатное загрузочное устройство; 10 – коническая загрузочная воронка;
- 11 – люк для подачи футеровочных плит внутрь; 12 – разгрузочная воронка;
- 13 – горловина; 14 – бутара; 15 – зубчатый венец; 16 – фундаментная плита;
- 17 – опорная плита; 18 – корпус; 19 – крышка; 20 – баббитовая заливка;
- 21 – патрубок; 22 – тележка; 23 – гидроцилиндр

Рисунок 1.13 – Мельница ММПС-7000х5200

Мельница представляет собой цилиндрический барабан 1, закрытый торцовыми стенками 2, 3. Стенки имеют полые цапфы 4, 5, которыми барабан опирается на коренные подшипники 6. Изнутри корпус барабана и торцовые стенки с целью предохранения их от износа защищены футеровочными бронеплитами 7. Вращение барабана осуществляется приводом 8 от тихоходного электродвигателя.

тродвигателя. Загрузка материала производится при помощи откатного загрузочного устройства 9. Подлежащий измельчению материал поступает в барабан из загрузочного устройства через полую цапфу загрузочной торцевой стенки. Измельчение материала производится ударами падающих шаров и крупных кусков материала, также раздавливанием и истиранием между шарами и внутренней футеровкой поверхностью барабана при его вращении.

Барабан условно разбит на три основные части: загрузочную, среднюю и разгрузочную.

Загрузочная часть состоит из конической торцевой стенки 2 с полую цапфой 4, в которой вмонтирована коническая загрузочная воронка 10 со шнеками для перемещения загружаемого материала и шаров внутрь. Одновременно воронка предохраняет цапфу от износа. Воронка выполнена разборной, она состоит из несменяемого каркаса и сменных бронеплит.

Средняя часть барабана представляет собой цилиндрический корпус сварной конструкции 1, выполненный из 4-х одинаковых частей. Имеет два люка 11 для подачи футеровочных плит внутрь и для разгрузки материала и шаров.

Разгрузочная часть барабана состоит из конической торцевой стенки 3 с полую цапфой 5, разгрузочной воронки 12 со шнеками, горловины 13 и бутары 14. Шнеки разгрузочной воронки имеют направление для продвижения измельченного материала из Мельницы. На фланце разгрузочной торцевой стенке закрепляется зубчатый венец 15. Подшипник коренной 6 состоит из фундаментной плиты 16, плиты опорной 17, корпуса 18 и крышки 19. Корпус подшипника имеет баббитовую заливку 20 опорной поверхности скольжения. Он сопрягается с плитой опорной по сферической поверхности, что обеспечивает самоустанавливаемость подшипника при работе мельницы. В корпусе подшипника предусмотрена полость для подачи охлаждающей жидкости, в случае если возникает потребность охлаждения подшипника в процессе работы.

Смазка подшипников жидкая циркуляционная. Подшипники снабжены системой гидроподпора, позволяющей подавать масло высокого давления под цапфу барабана, что снижает трение в подшипниках. Для контроля температуры нагрева баббита в корпусе подшипника установлена пара термопреобразователей. Замер температуры производится в наиболее загруженной зоне.

Привод мельницы состоит из тихоходного двигателя, упругой муфты с промежуточным валом, открытой зубчатой передачи, устройства медленного поворота барабана и кожухов.

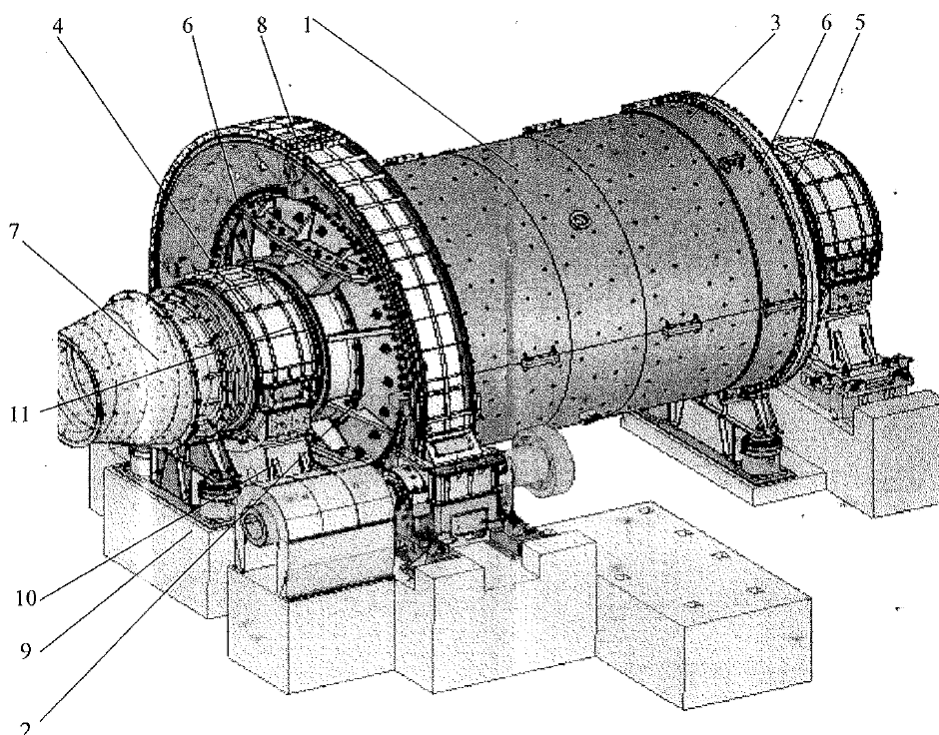
Загрузочное устройство представляет собой патрубок 21, установленный на тележку 22. Внутренняя поверхность патрубка защищена от износа стальной листовой футеровкой. Для перемещения тележки служит гидроцилиндр 23.

Устройство медленного поворота барабана предназначено для медленного вращения и стопорения барабана мельницы (без выгрузки из барабана мелких тел и измельченного материала) при выполнении ремонтных и профилактических работ. Устройство медленного поворота барабана состоит из электродвигателя, редуктора, муфты, тормоза, открытой зубчатой передачи и расцепного устройства при помощи которого вращением маховика вручную, про-

изводится ввод и вывод шестерни из зацепления. Привод механизма реверсивный. После того, как было осуществлено вращение барабана в одну из сторон, вращение в противоположную сторону с включением электродвигателя устройства при загрузке мельницы шарами не допускается. Возможность стопорения барабана мельницы обеспечивается наличием большого передаточного отношения устройства и тормозом.

Мельница МШЦ-5500х7500 с центральной разгрузкой предназначена для мокрого измельчения руд.

Мельничный агрегат состоит из собственно мельницы, смазочной системы и электрооборудования. Мельница представлена на рисунке 1.14.



1 – цилиндрический барабан; 2,3 – торцовые стенки; 4,5 – полые цапфы; 6 – коренные подшипники; 7 – горловина и бутара; 8 – зубчатый венец; 9 – фундаментная плита; 10 – опорная плита; 11 – крышка

Рисунок 1.14 – Мельница МШЦ-5500х7500

Мельница представляет собой цилиндрический барабан 1, закрытый торцовыми стенками 2, 3. Стенки имеют полые цапфы 4 и 5, которыми барабан опирается на коренные подшипники 6 изнутри корпус барабана и Торцовые стенки с целью предохранения их от износа защищены футеровочными бронеплитами. Вращение барабана осуществляется при помощи открытой зубчатой пары приводом от тихоходного электродвигателя.

Подлежащий измельчению материал поступает в барабан из загрузочного устройства через полую цапфу загрузочной торцевой стенки, и после измельчения разгружается через полую цапфу загрузочной торцевой стенки. Измельчение материала производится ударами падающих шаров и крупных кусков материала, также раздавливанием и истиранием между шарами и внутренней футеровкой поверхностью барабана при его вращении.

Барабан мельницы условно разбит на три основные части: загрузочную, среднюю и разгрузочную.

Загрузочная часть состоит из конической торцевой стенки 3 с поллой цапфой 5, в которой вмонтирована коническая Загрузочная воронка со шнеками для перемещения загружаемого материала и шаров внутрь. Одновременно воронка предохраняет цапфу от износа. Воронка выполнена разборной, она состоит из несменяемого каркаса и сменных бронеплит, которыми футеруется внутренняя поверхность каркаса. На внутренней поверхности торцевой стенки установлены футеровочные плиты, которые защищают ее от износа.

Средняя часть барабана представляет собой цилиндрический корпус сварной конструкции 1, выполненный из 3-х частей. Имеет два люка для подачи футеровочных плит внутрь и для разгрузки материала и шаров.

Разгрузочная часть барабана состоит из конической торцевой стенки 2 с поллой цапфой 4 разгрузочной воронки со шнеками, горловины и бутары 7. На внутренней поверхности торцевой стенки установлены футеровочные плиты, которые защищают ее от износа. Шнеки разгрузочного патрубка имеют противоположное направление спирали относительно шнеков в загрузочной воронки и служат для возврата шаров и крупных частиц измельчаемого материала во внутрь барабана мельницы.

На внутренней поверхности барабана устанавливаются бронирующие плиты, которые защищают его от износа. Бронирующие плиты укладывают на резиновые прокладки, обеспечивающие плотность прилегания плит к барабану, снижение шума при работе мельницы и предохраняющие корпус барабана от износа пульпой.

На фланце разгрузочной торцевой стенке закрепляется зубчатый венец 8.

Подшипник коренной 6 состоит из фундаментной плиты 9, опорной 10, корпуса и крышки 11. Корпус подшипника имеет баббитовую заливку опорной поверхности скольжения. Он сопрягается с плитой опорной по сферической поверхности что обеспечивает самоустанавливаемость подшипника при работе мельницы. В корпусе подшипника предусмотрена полость для подачи охлаждающей жидкости, в случае если возникает потребность охлаждения подшипника в процессе работы.

Смазка подшипников жидкая циркуляционная. Подшипники снабжены системой гидроподпора, позволяющей подавать масло высокого давления под цапфу барабана, что снижает трение в подшипниках. Для контроля температуры нагрева баббита в корпусе подшипника установлена четыре термопреобразователей. Замер температуры производится в наиболее загруженной зоне.

Привод мельницы состоит из тихоходного электродвигателя, упругой муфты: с промежуточным валом, открытой зубчатой передачи, устройства медленного поворота барабана и Кожухов.

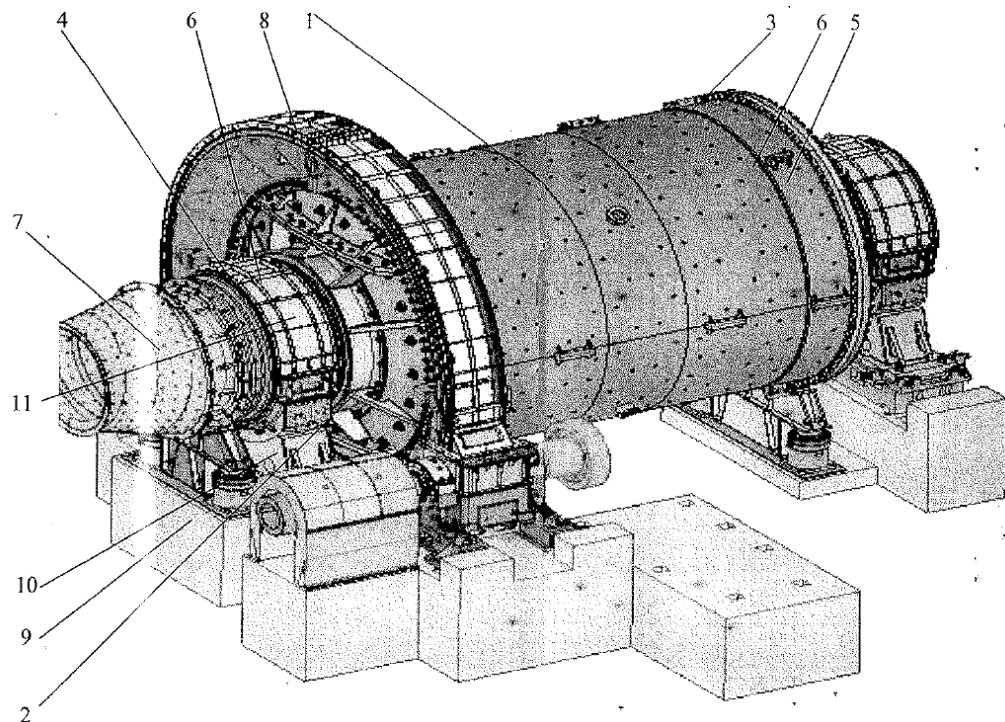
Устройство медленного поворота барабана предназначено для медленного вращения и стопорения барабана мельницы (без выгрузки из барабана мелких тел и измельченного материала) при выполнении ремонтных и профилактических работ.

Устройство медленного поворота барабана состоит из электродвигателя, редуктора, муфты, тормоза, открытой зубчатой передачи и расцепного устрой-

ства, при помощи которого, вращением маховика вручную, производится ввод и вывод шестерни из зацепления. Привод механизма реверсивный. После того, как было осуществлено вращение барабана в одну из сторон, вращение в противоположную сторону с включением электродвигателя устройства при загрузке мельницы шарами не допускается. Возможность стопорения барабана мельницы обеспечивается наличием большого передаточного отношения устройства и тормозом.

Шаровая мельница МШЦ-2700х3600 с центральной разгрузкой предназначена для мокрого измельчения руд.

Мельничный агрегат состоит из собственно мельницы, смазочной системы и электрооборудования. Мельница представлена на рисунке 1.15.



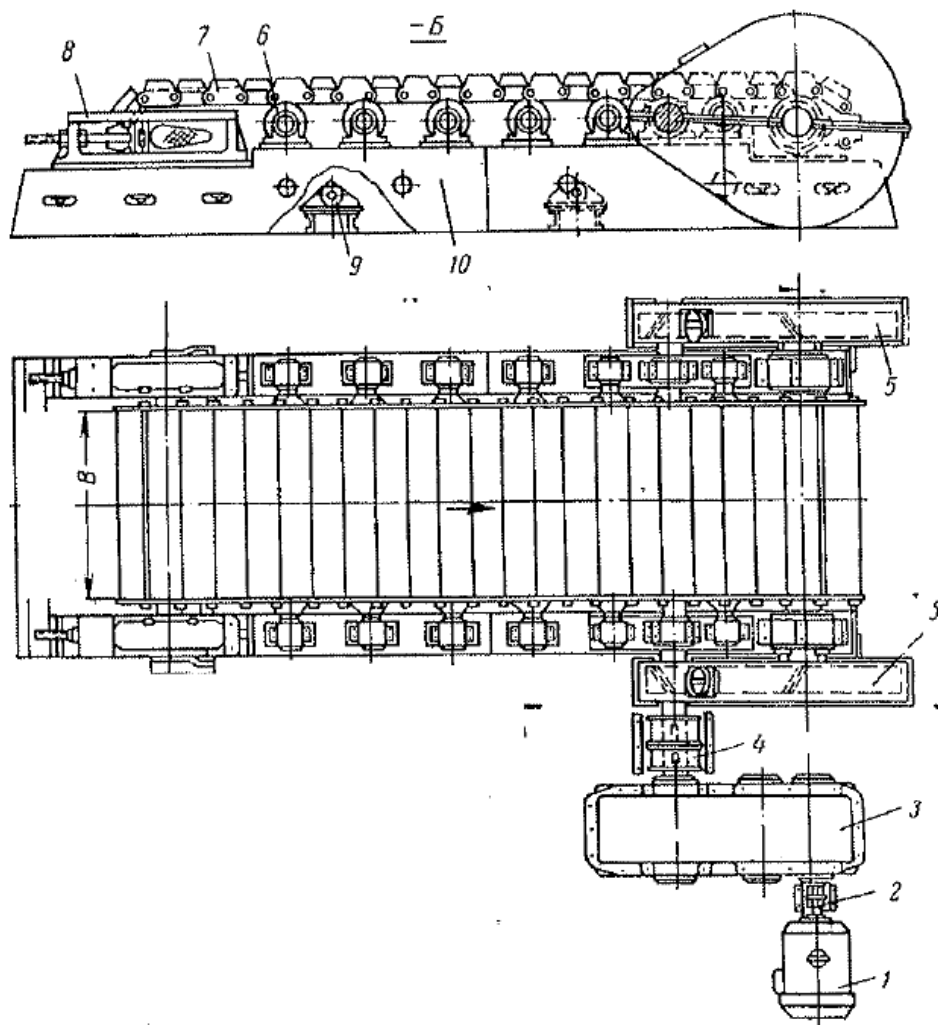
1 – цилиндрический барабан; 2,3 – торцовые стенки; 4,5 – полые цапфы; 6 – коренные подшипники; 7 – горловина и бутара; 8 – зубчатый венец; 9 – фундаментная плита; 10 – опорная плита; 11 – крышка

Рисунок 1.15 – Мельница МШЦ-2700х3600

Строение и принцип действия мельницы МШЦ-2700х3600 абсолютно такой же, что и у МШЦ-5500х7500. Единственное различие заключается в том, что первая меньше по размерам.

Процессы дробления и измельчения невозможны без вспомогательного оборудования, которое осуществляет доставку руды к основным силовым агрегатам. Рассмотрим вспомогательное оборудование процессов дробления и измельчения.

Пластинчатые питатели ПП-1-24-180Б применяются для перемещения крупнокусковых тяжелых и абразивных материалов, когда давление материала, заполняющего бункера, передается непосредственно на полотно питателя. Устройство пластинчатого питателя представлено на рисунке 1.16.

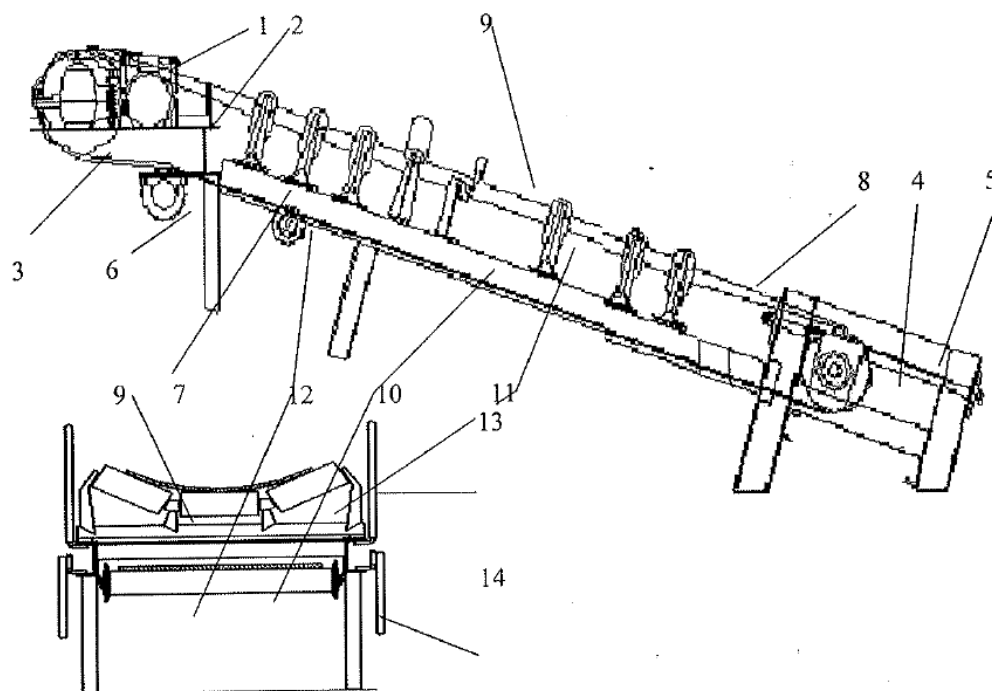


1 – электродвигатель; 2,4 – муфты; 3 – редуктор; 5 – зубчатый пары; 6 – верхний ролик; 7 – лента питателя; 8 – натяжное устройство; 9 – нижний ролик; 10 – рама питателя

Рисунок 1.16 – Питатель пластинчатый ПП-1-24-180Б

Пластинчатый питатель представляет собой конвейер, рабочий орган – лента 7 которого состоит из стальных корытообразных пластин, прикрепленных к шарнирным цепям (звеньям). Лента питателя 7, опирающаяся на верхние ролики 6 (груженой ветви) и нижние ролики 9 (холостой ветви), приводится в движение валом звездочкой от электродвигателя 1 через редуктор 3 и две параллельные косозубые передачи 5. Натяжение полотна ленты регулируется натяжным винтовым устройством 8, смонтированным на самоустанавливающихся подшипниках скольжения.

В горной промышленности ленточные конвейеры применяются для горизонтального или наклонного перемещения сыпучих материалов (руды, пустой породы и т.п.). Конвейер представлен на рисунке 1.17.



- 1 – привод; 2 – опорная рама; 3 – приводной барабан (ведущий барабан);  
 4 – ведомый барабан; 5 – натяжное устройство; 6 – отклоняющий барабан;  
 7 – став (опорная конструкция средней части конвейера); 8 – конвейерная лента;  
 9 – верхняя ветвь конвейерной ленты; 10 – нижняя ветвь конвейерной ленты;  
 11 – верхняя роlikоопора; 12 – нижняя роlikоопора; 13 – защитное ограждение  
 верхних роlikоопор; 14 – защитное ограждение нижних роlikоопор

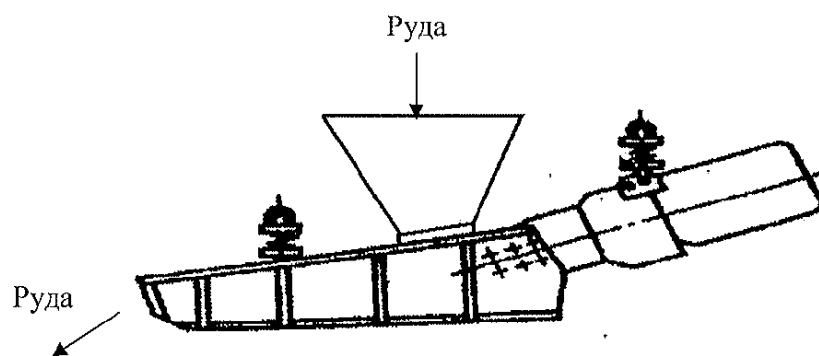
Рисунок 1.17 – Конвейер ленточный стационарный

Лента является транспортирующим и тяговым органом, применяется резиноканевая лента, состоящая из нескольких слоев хлопчатобумажной или чаще синтетической ткани, связанных резиной, огибающая барабаны, расположенных на обоих концах конвейера.

На концах рамы установлены ведущий и ведомый барабаны. Ведущий барабан снабжен встроенным приводом, состоящим из электродвигателя и редуктора, ведомый имеет винтовое натяжное устройство. От степени натяжения зависит работоспособность транспортера, и срок службы ленты: малое натяжение вызывает пробуксовку, нагрев и разрушение ленты, а чрезмерное – ее быстрый износ и разрыв. Между ведущим и ведомым барабанами на раме устанавливаются роlikовые опоры, поддерживающие верхние и нижние ветви ленты. Конвейер загружается через загрузочное устройство, а выгружается через ведущий барабан или в промежуточных пунктах с помощью плужковых сбрасывателей, представляющих собой щит, устанавливаемый над конвейерной лентой под углом к направлению движения груза. Транспортируемый материал, двигаясь вдоль щита, сбрасывается с ленты на одну или на обе стороны.

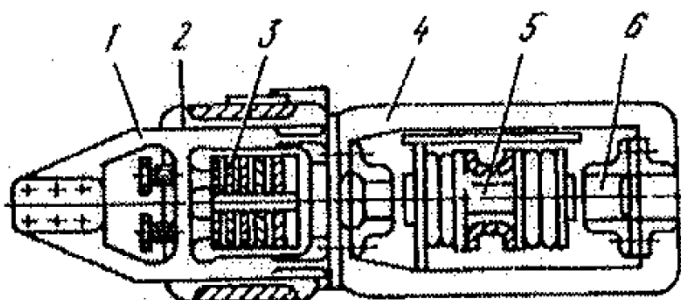
Питатель вибрационный ПЭВ 2-8х15 с открытым электромагнитным приводом предназначен для регулируемой выдачи не липких сыпучих, кусковых и зернистых материалов (см. рисунки 1.18, 1.19)





1 – бункер; 2 – лоток; 3 – амортизатор (виброизалятор); 4 – вибратор электромагнитный

Рисунок 1.18 – Питатель вибрационный с открытым электромагнитным приводом ПЭВ 2-8х15



1 – балка-обойма; 2 – корпус; 3 – система рессорная; 4 – скоба;  
5 – электромагнит; 6 – якорь

Рисунок 1.19 – Вибратор электромагнитный 383Рм

Питатель вибрационный – это качающийся конвейер, в котором перемещение груза осуществляется микробросками с отрывом части груза от желоба. Движение материала по лотку происходит под действием сил инерции в период обратного хода лотка.

Питатель вибрационный состоит из лотка и прикрепленному к нему электромагнитного вибратора. Питатель подвешивается на четырех подвесках амортизаторах.

Питатель вибрационный изготавливается в подвесном исполнении с нижним или верхним расположением привода. В питателе нет вращающихся частей и плоскостей трения, поэтому уход за ним и ремонтные работы сводятся к минимуму. По принципу действия питатели относятся к двухмассным (двухзазорным) резонансным колебательным системам, в которых обе массы связаны между собой упругими элементами (рессорными пакетами). При этом рабочий орган (лоток, балка-обойма, скоба с якорями электромагнита относятся к активной массе, а корпус, траверса и сердечник электромагнита с катушками к реактивной массе. Для нормальной работы питателя необходимо чтобы активная масса была равна или легче реактивной на 15-20%. В питателе используются плоскорессорная упругая система, состоящая из рессор и тонких прокладок между ними. Пакеты рессор по концам и в середине заменены болтами. Производительность плавно регулируется от 0 до максимума путем изменения силы тока возбуждения электромагнита.

Помимо процессов дробления и измельчения, процесс классификации является не менее важным. Рассмотрим гидроциклоны и их вспомогательное оборудование, а также принцип их работы.

Гидроциклон осуществляет разделение твердых частиц в соответствии с их относительной скоростью осаждения за счет центробежных сил, создаваемых в корпусе циклона. Скорость осаждения пульпы зависит от размера частиц, формы, вязкости жидкости, плотности. Расположение нескольких гидроциклонов запитанные из общего коллектора питания называется батареей гидроциклонов. Гидроциклонная установка – это батарея гидроциклонов (блок гидроциклонов) и электронасосный агрегат предназначенная для непрерывного получения требуемого фракционного состава пульпы (рудной суспензии) методом центробежного разделения в гидроциклонах.

Устройство и принцип действия гидроциклона CVX650 заключается в следующем. Большая часть поступающей жидкости движется по наружной спирали в направлении к наружной части конуса 1 гидроциклона, где она начинает двигаться поперек в сторону центра. Часть потока выходит вниз через песковую насадку 2, а остальная часть меняет направление за счет внутреннего спирального потока и через сливную насадку выходит наружу 3. Твердые частицы, содержащиеся в пульпе, под действием центробежной силы приобретают ускорение, направляющее их к стенкам корпуса циклона. Эта сила возрастает с увеличением массы частиц (т.е. для частиц больших размеров или удельного веса). В результате более крупные и тяжелые частицы перемещаются по направлению и вдоль внутренней стенки циклона, чтобы уйти вместе с небольшим количеством жидкости. Мелкие и легкие частицы, в большинстве, уносятся потоком и выходят из циклона с большей частью жидкости через слив 4.

Циклоны WARMAN рассчитаны на работу в тяжелых условиях. Детали корпуса выполнены из жесткого материала и дополнительно снабжены внутренними заменяемыми футеровками 5. Каждая деталь футеровки отлита в точном соответствии с элементом корпуса, в котором она вставляется, и клеящие вещества для их крепления к стенкам корпуса не требуется. В деталях корпуса некоторых гидроциклонах используется специальный полимерный материал DMC.

Конструктивно гидроциклонная установка 650 GVX состоит из:

- четырех гидроциклонов 650 GVX;
- насоса Warman шламовый 12/10 (14-12);
- электродвигателя привода насоса;
- преобразователя частоты;
- шкафа управления, обслуживающего работу установки в автоматическом и ручном режимах, а также регистрацию рабочих параметров;
- пульта управления;
- датчика давления на питание гидроциклона;
- шибер на всасывающем трубопроводе насоса;
- шибер на нагнетание насоса;
- клапана для размывки песка в зумпфе;
- клапана для промывки насоса;

- система гидроподпора уплотнения вала насоса;
- система визуализации.

Все компоненты показаны на рисунке 1.20.

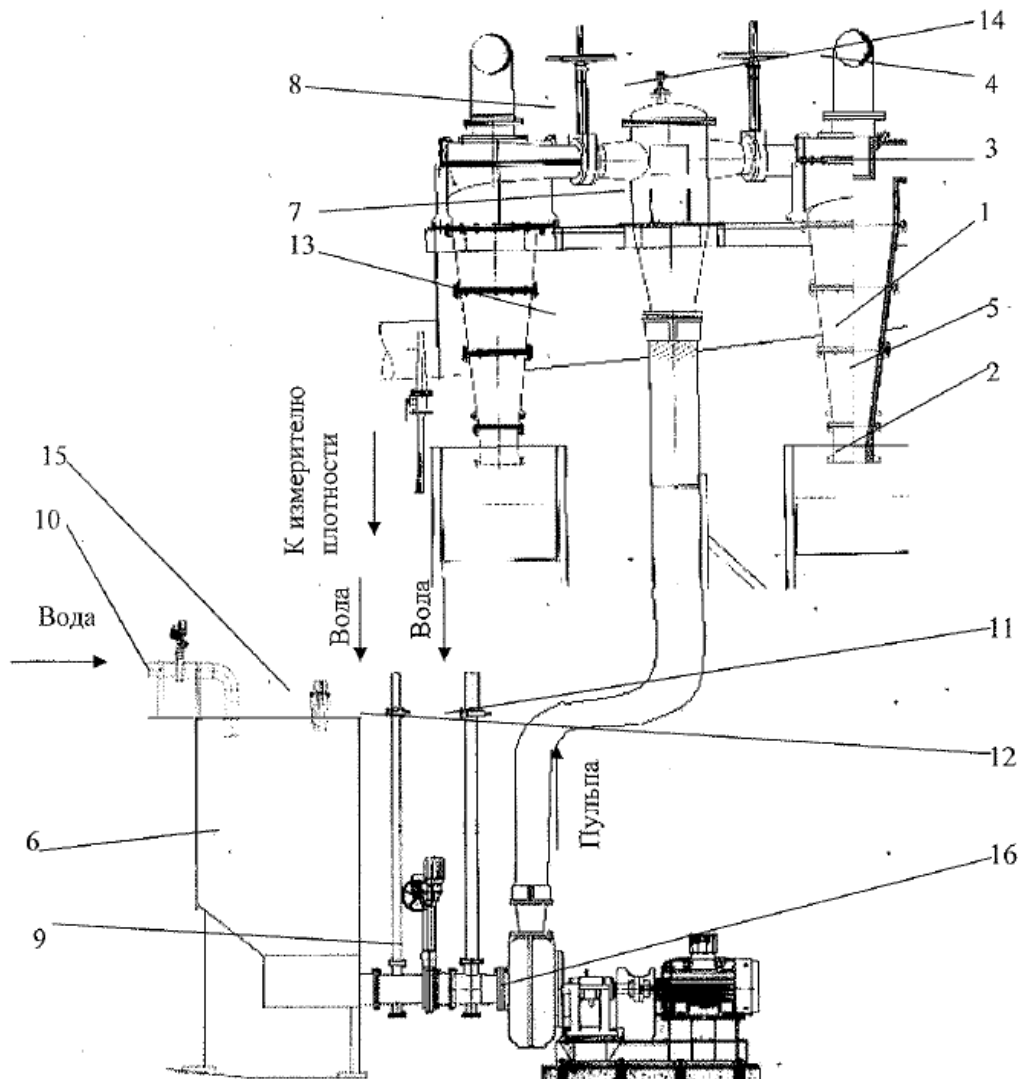


Рисунок 1.20 – Принцип работы гидроциклона CVX650

Насос 16 принимает пульпу из зумпфа 6 и по напорному трубопроводу подает ее в гуммированный изнутри распределитель 7. Из распределителя пульпа с одинаковыми условиями на входе поступает в гидроциклоны, а входе в каждый гидроциклон установлен отсечной плоский шибер с ручным приводом 8. На всасе насоса установлен плоский шибер 9 с пневмоцилиндром и имеющимся блокировками на открытие и закрытие в процессе запуска и остановки гидроциклонной установки.

Установлен регулирующий клапан 10 для регулировки подачи воды в зумпф от операторской ОРП, по сигналу стабилизации давления на входе в гидроциклонную установку установлены клапаны промывки насоса 11 и размыва зумпфа 12 в процессе запуска и остановки гидроциклонной установки.

Продукт слива из сливных патрубков гидроциклона по трубам поступает в лоток сливов 13.

Система гидроподпора уплотнения вала насоса состоит из: трубопровода и вентиля, датчика давления. Работа гидроподпора имеет защиту, при снижении давления насос останавливается.

По аналогичной схеме и действует гидроциклонная установка на участке доизмельчение флотоконцентрата с использованием гидроциклонов CVX250 (рисунок 1.21) угол конусности гидроциклона CVX250 составляет 10 градусов.

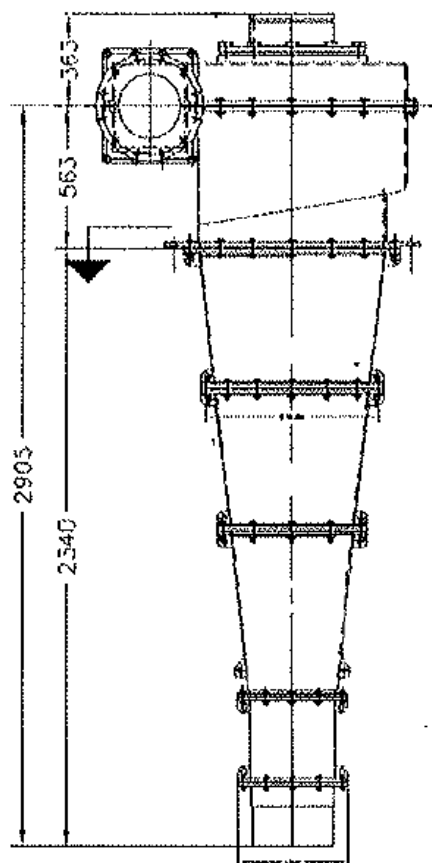
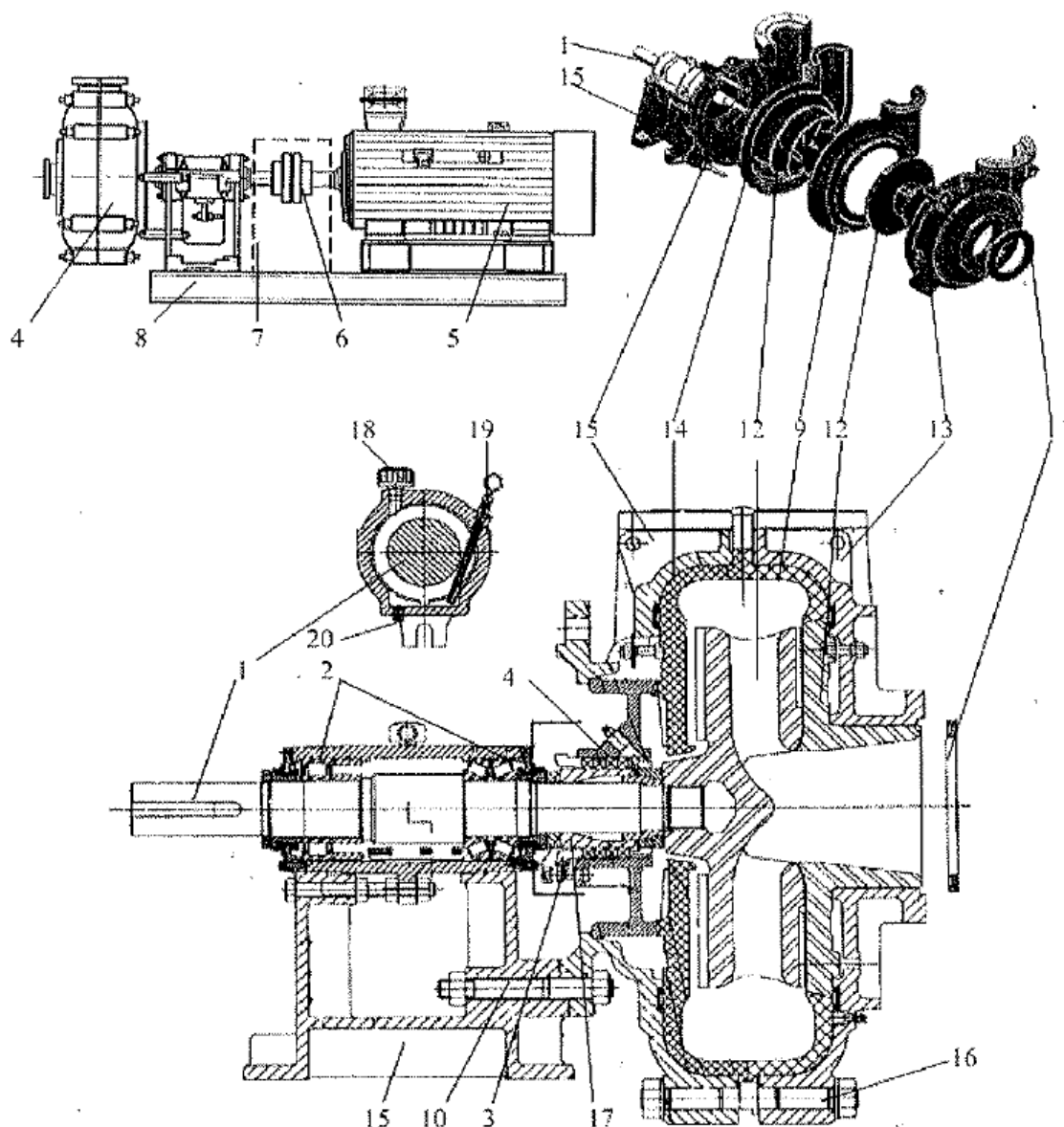


Рисунок 1.21 – Гидроциклон CVX250

Песковой насос Warman 12/10 это горизонтальный насос, предназначенный для различных режимов перекачки абразивных материалов при непрерывной эксплуатации в тяжелых условиях. Насос «WARMAN» представляет собой тип одноступенчатых центробежных насосов с установленным на валу рабочем колесом, вращающимся в спиральном корпусе с внутренней футеровкой. Вал насоса поддерживается подшипниковым узлом, заполненным консистентной смазкой или находящейся в масляной ванне. Насос Warman 12/10 имеет конструкцию «двойного корпуса», рабочее пространство насоса защищено от износа внутренним корпусом (футеровки) из прочной износостойкой резины. Конструкция насоса такова, что футеровка из резины при высоком давлении герметична. Это обеспечивает высокое рабочее давление и использование футеровки до полного износа (рисунок 1.22).



1 – вал; 2 – рабочее колесо; 4 – насос; 5 – двигатель; 6 – муфта соединительная;  
 7 – защитный кожух муфтового соединения; 8 – рама; 9 – футеровка корпуса со стороны всаса; 11 – управление фланца всаса; 12 – передний бронедиск;  
 13 – часть корпуса со стороны всаса; 14 – улитка (задний бронедиск; 15 – станина и закрепленный на ней подшипниковый узел; 16 – шпилька корпуса; 17 – защитная втулка вала; 18 – дефлектор; 19 – стержневой маслоуказатель (щуп); 20 – пробка.

Рисунок 1.22 – Насос Warman 12/10

Центробежные песковые насосы ПРВП 63/22,5 предназначены для перекачки абразивных материалов с водородными показателями pH до 8, плотностью  $1300 \text{ кг/м}^3$ , температурой до  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ , с твердыми включениями объемной концентрации до 25 %, максимальной крупности твердых частиц 2 мм, микротвердостью до 9000 Мпа. На рисунке 1.23 представлены конструкции насосов ПБ и ПРВП в разрезе.



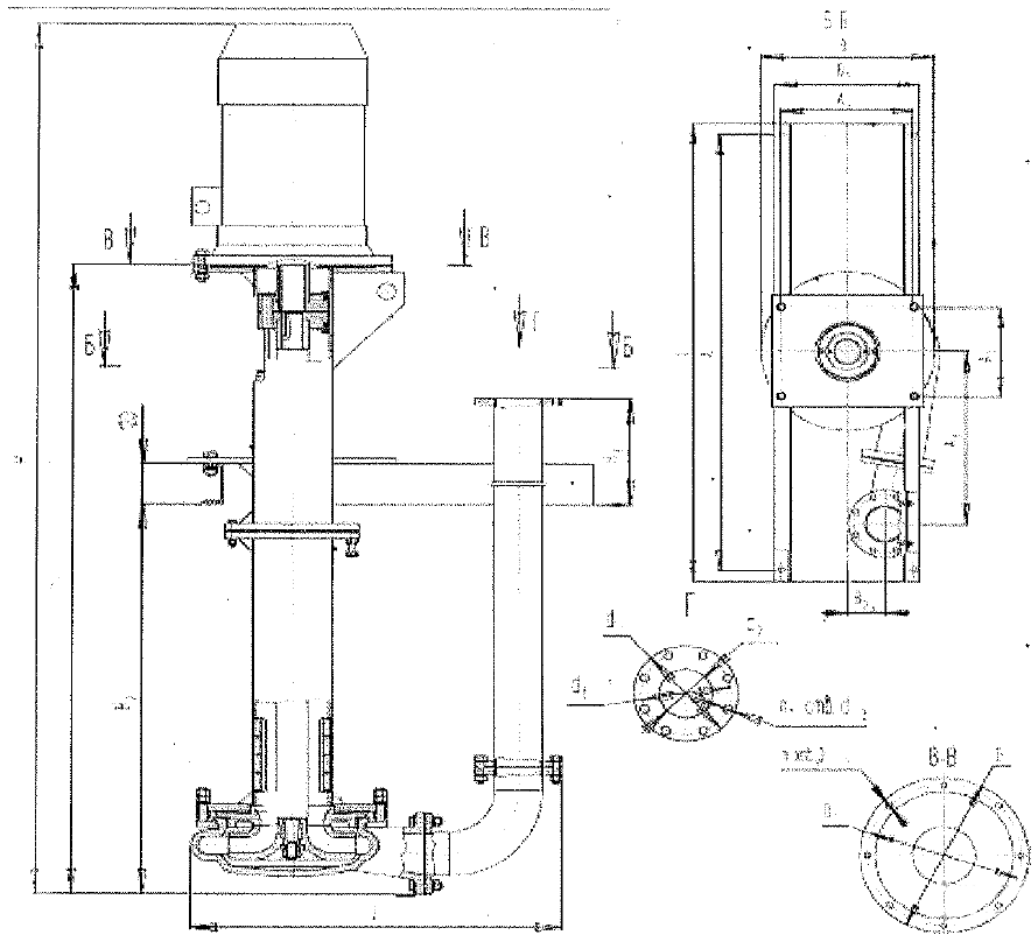


Рисунок 1.24 – Песковой насос ПВП 160/20

Изъятие страниц 30-32

## Выводы по разделу 1

Дробилки, мельницы и гидроциклоны находят широкое применение в промышленности. Измельчение руды может осуществляться в мельницах различных типов:

- по типу измельчающих тел (стержневые, шаровые);
- по способу измельчения (само-и полусамоизмельчения).

Каждый из перечисленных типов мельниц обладает своей крупностью измельченного продукта, а также физико-химическими свойствами исходных руд. В зависимости от них определяется возможность и экономическая целесообразность применения того или иного типа мельниц.

Оптимизация процесса измельчения зависит от многих параметров, таких как стабильность ТП, поддержание водного режима, режима плотностей, прогнозирование и своевременное устранение аварийных ситуаций

Качественное решение этих задач невозможно без использования современных автоматизированных систем управления технологическим процессом.

Автоматизированное управление процессом измельчения представляет сложную актуальную проблему, решение которой будет способствовать улучшению технико-экономических показателей производства золота на ОГМК АО «Полнос» и улучшению условий работы технологического персонала ЗИФ-4.



## **2 Автоматизация процесса измельчения**

Основными целями автоматизации технологического процесса являются:

- сокращение численности обслуживающего персонала;
- увеличение объемов выпускаемой продукции;
- повышение эффективности производственного процесса;
- повышение качества продукции;
- снижение расходов сырья;
- повышение безопасности;
- повышение экологичности;
- повышение экономичности.

Цели достигаются посредством решения следующих задач автоматизации технологического процесса:

- улучшение качества управления;
- повышение коэффициента готовности оборудования;
- улучшение эргономики труда операторов процесса;
- обеспечение достоверности информации о материальных компонентах, применяемых в производстве;
- хранение информации о ходе технологического процесса и аварийных ситуациях.

### **2.1 Назначение и общие функции АСУ ТП**

Назначением разрабатываемой АСУ ТП является следующее:

- оперативный диспетчерский контроль состояния и управления производством;
- стабилизация заданных режимов технологического процесса, контроль технологических параметров, их визуальное представление и выдача управляющих воздействий на исполнительные механизмы, как в ручном, так и в автоматическом режиме;
- переключение технологических узлов в безопасное состояние путем выдачи управляющих воздействий на исполнительные механизмы в автоматическом режиме, или по инициативе оперативного персонала;
- автоматическая оперативная расшифровка места и вида нештатных и аварийных ситуаций, в случае их возникновения;
- автоматическое ведение журналов аварий технологических процессов;
- автоматический учет результатов работы за любой заданный промежуток времени по перечню заданных параметров;
- представление операторам/диспетчеру в виде графиков результатов автоматического анализа динамики изменения параметров, измеряемых в ходе технологических процессов;

Основной целью создания АСУ ТП является повышение показателей извлечения золота и повышение эффективности работы фабрики, достигаемое за счет:

- увеличения производительности (выпуск товарной продукции);
- снижения количества или устранение ситуаций, обуславливающих получение некачественной продукции;
- повышения извлечения металлов из руды;
- снижения убытков от аварий и простоев оборудования;
- общего снижения себестоимости выпускаемой продукции;
- снижение роли ручного труда;
- минимизация влияния человеческого фактора на работу технологического процесса.

### Изъятие страниц 35-71

#### **Выводы по разделу 2**

Рассмотрена существующая АСУ ТП ОРПиО ЗИФ-4 ОГМК АО «Полюс» с описанием ее назначения и функций. Основной целью создания АСУ ТП является повышение показателей извлечения золота и повышение эффективности работы фабрики.

Подробно рассмотрена структура АСУ ТП. Представлен основной перечень аппаратов, являющихся технологическими объектами управления АСУ ТП. Расписаны режимы управления, контроля и визуализации ТП.

### 3 Корреляционно-регрессионный анализ для определения зависимостей между технологическими параметрами

Целью корреляционно-регрессионного анализа является получение математической модели, отвечающей требуемым показателям качества [24].

Получение математической модели проводили по приведённому алгоритму (рисунок 3.1) [25].

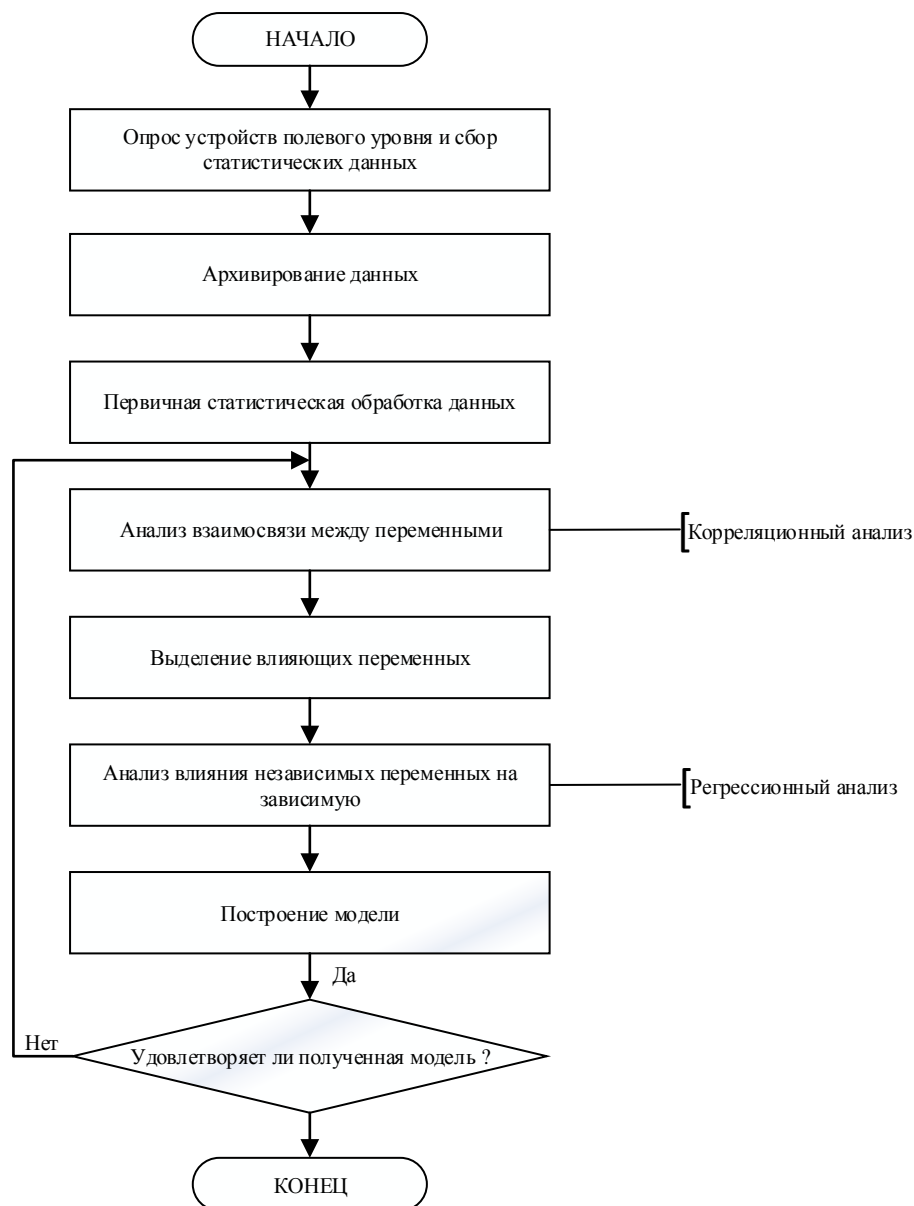


Рисунок 3.1 – Алгоритм корреляционно-регрессионного анализа данных

Для достижения требуемого состояния ТП необходимо знать реакцию объектов на управляющие воздействия. Средством для нахождения прогнозных значений выходов (функций отклика) объекта от входных параметров процесса измельчения является математическая модель. Имея модель, можно в реальном времени найти необходимые управляющие воздействия для перевода процесса из текущего состояния в требуемое состояние [24].

### **Выводы по разделу 3**

При использовании корреляционно-регрессионного анализа для определения наличия зависимостей между параметрами мельницы был выделен параметр, который в дальнейшем исследовании будет считаться «выходным». Им будет параметр «потребляемая мощность мельницы». В свою очередь, все остальные параметры будут считаться «входными».

На основании выявленных зависимостей между параметрами будет построена нейросетевая модель, прогнозирующая оптимальные значения входных параметров, исходя из требуемого выходного, что в свою очередь поможет улучшить качество управления технологическим процессом.

## **4 Нейросетевое моделирование для прогнозирования параметров мельницы**

Современный уровень развития математического аппарата позволяет использовать нейросетевое моделирование, как для исследования процессов, так и для прогнозирования требуемых технологических параметров. Моделирование такого параметра, как потребляемая мощность мельницы, позволяет оценить возможные затраты энергии и зависимость между параметрами. После установления зависимостей между параметрами появляется возможность влиять на процесс измельчения в целом [28].

Поэтому использование моделирования с целью изучения зависимостей между параметрами и возможного снижения энергопотребления более чем актуально.

Долгое время основным инструментом для анализа данных была традиционная математическая статистика, но она главным образом представляет интерес при проверке ранее сформулированных гипотез [29].

Одно из преимуществ нейронных сетей – они могут аппроксимировать любую непрерывную функцию, что позволяет исследователю не принимать заранее какие-либо гипотезы относительно модели [29].

Однако нейронные сети обладают сложной структурой, большим временем обучения, кроме того окончательное решение зависит от начальных установок сети и его сложно интерпретировать в традиционных аналитических терминах. Тем не менее, постоянная оптимизация алгоритмов обучения сетей, высокая допустимость к зашумленным данным и низкая вероятность ошибок делают нейросетевое моделирование весьма перспективным [30].

Нейросетевые технологии позволяют решать задачи описания динамики состояний объекта в нормальных условиях, в условиях неопределенности и ограничений по ресурсам, т.е. решение которых классическими методами затруднено или не представляется возможным.

### **4.1 Построение нейронной сети для выходного параметра «Потребляемая мощность»**

Корреляционно-регрессионный анализ является традиционным инструментом для проверки большинства математических гипотез. Несмотря на точность, он имеет один существенный недостаток – невозможность использования всех имеющихся параметров при построении математической модели.

На этапе построения корреляционной матрицы происходит отсеивание параметров, имеющих слабую связь с другими параметрами.

Нейросетевое моделирование позволяет использовать все имеющиеся параметры при построении нейросетевой модели.

## Изъятие страниц 89-103

### Выводы по разделу 4

Проведено исследование особенностей нейросетевого моделирования и алгоритмов обучения модели.

В результате обучения нейросети была получена модель, прогнозирующая выходной параметр «Потребляемая мощность мельницы». В зависимости от алгоритма обучения можно получить желаемую точность прогноза.

Для того, чтобы исключить случайность, как фактор, обучение нейросети проводилось повторно. При повторном обучении нейросети в качестве выходного прогнозируемого параметра был выбран параметр «Температура обмотки статора 1».

Применение нейросетевого моделирования для прогнозирования параметров мельницы позволит улучшить качество управления технологическим процессом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автоматизация управления энергоемким процессом измельчения рудных материалов в промышленном производстве является важнейшим условием обеспечения максимальной производительности технологических измельчительных агрегатов.

Повышение эффективности управления процессом измельчения рудных материалов путем совершенствования автоматического управления процессом с целью достижения и поддержания максимально возможной производительности агрегатов измельчения в данной работе было проведено на примере существующей АСУ ТП ОРПиО ЗИФ-4 ОГОК АО «Полюс» с описанием ее назначения и функций.

В ходе проделанной работы проведен анализ технологических особенностей процесса мокрого измельчения рудных материалов, рассмотрены основные технологические агрегаты в измельчении рудных материалов, описаны технологические процессы ОРПиО ЗИФ-4, изучены конструктивные особенности основного технологического оборудования ОРПиО, выполнен сбор данных и их предварительная обработка, описаны алгоритмы управления технологическими объектами в АСУ ТП, использован корреляционно-регрессионный анализ для разработки математических моделей мельницы по данным пассивного эксперимента, с помощью нейросетевого моделирования разработаны модели для прогнозирования значений параметров мельницы.

По итогам работы над совершенствованием управления ТП измельчения были достигнуты следующие результаты:

1) разработаны математические модели управления ТП мельницы полусамоизмельчения по данным пассивного эксперимента при помощи корреляционно-регрессионного анализа данных;

2) разработаны нейросетевые модели для прогнозирования значений параметров, влияющих на процесс измельчения.

На основании достигнутых результатов работы можно сделать вывод о том, что принципиальные преимущества совершенствования управления ТП заключаются в управлении переменными процесса с учетом взаимосвязей между этими переменными.

Для повышения эффективности переработки руд также необходимо разрабатывать и внедрять системы усовершенствованного управления, позволяющие уменьшить диапазон колебаний основных производственных факторов (потребляемой мощности, температуры обмоток статора, массового расхода руды и т.д.).

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Козин В.З. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках: учебное пособие для вузов/ В.Х. Козин, Троп А.Е., Комаров А.Я. – Москва: Недра, 1980. – 336 с.
2. Алгебраистова Н.К. Технология обогащения руд цветных металлов: конспект лекций / Н. К. Алгебраистова, А. А. Кондратьева. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009
3. Кусков В. Б. Обогащение и переработка полезных ископаемых: учеб. пособие / В. Б. Кусков, М. В. Никитин; Санкт-Петербургский горный ин-т (технический университет). СПб, 2002. – 84 с.
4. Разумов, К.А. Проектирование обогатительных фабрик: учеб. для вузов / К. А., Разумов, В. В. Петров. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва.: Недра, 1982. – 518 с.
5. КБЕ 0 ПБ-63 2016/1 Технологическая инструкция по переработке руды Благодатненского месторождения. Отделения рудоподготовки и обогащения руды ЗИФ-4. Участок измельчение и классификации, доизмельчение флотоконцентрата; Олимпиадинский ГОК, 2016. – 62 с.
6. КБЕ 0 ПБ-62 2016/1 Технологическая инструкция по переработке руды Благодатненского месторождения. Отделения рудоподготовки и обогащения руды ЗИФ-4. Участок дробление; Олимпиадинский ГОК, 2016. – 62 с.
7. Андреев, С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В.В. Зверевич / 3-е изд. перераб. и доп. – Москва.: Недра, 1980. – 415 с.
8. Троп, А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик : учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / А. Е. Троп, В. З. Козин, Е. В. Прокофьев. – Москва : Недра, 1986. – 303 с.
9. Виноградова В.С. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях: справ. пособие / М.В. Васильев, П.П. Мирошкин, В.А. Голубев. – Москва.: Недра, 1984. – 167 с.
10. Островский, Г.М. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. 1 / Абиев Р.Ш., Барабаш В.М., Биленко Л.Ф. и др. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 848 с.
11. Электронные реле давления WIKA со встроенным индикатором PSD-30 [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: [http://www.wika.ru/psd\\_30\\_psd\\_31\\_ru\\_ru.wika](http://www.wika.ru/psd_30_psd_31_ru_ru.wika)
12. Датчики температуры и влажности комбинированные ДВТ-02 [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: <http://relsib.com/product/datchik-vlazhnosti-dvt-02m>
13. Датчики температуры (термопреобразователи) ОВЕН ДТС 065 (Pt100) 02 [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: [http://www.owen.ru/catalog/termopreobrazovateli\\_soprotivleniya\\_dts\\_tipa\\_tsp\\_tsm/75927303](http://www.owen.ru/catalog/termopreobrazovateli_soprotivleniya_dts_tipa_tsp_tsm/75927303)
14. Автоматизация SIEMENS. [Электронный ресурс] : официальный сайт фирмы SIEMENS. – Режим доступа: <http://www.siemens sitrans.ru>



15. Реле протока Endress+Hauser АТТ-12 [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: <http://www.ru.endress.com/ru/tailor-made-field-instrumentation/flow-measurement-product-overview/datchik-rasxoda-flowphant-t-dtt31>
16. Сигнализаторы уровня САУ-М6 [Электронный ресурс] : каталог продукции.– Режим доступа: [http://www.owen.ru/catalog/signalizator\\_urovnya\\_zhidkosti\\_trehkanal\\_nij\\_owen\\_sau\\_m6/opisanie](http://www.owen.ru/catalog/signalizator_urovnya_zhidkosti_trehkanal_nij_owen_sau_m6/opisanie)
17. Outotec PSI [Электронный ресурс] : каталог продукции.– Режим доступа: <https://www.outotec.ru/products-and-services/technologies/analizatory-i-avtomatizaciya-tehnologicheskogo-processa/analizator-razmera-chastic-psi-300i/>
18. Бесконтактный измеритель плотности ИПБ-1К [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: <http://www.ecophyspribor.ru/plotnomer>
19. Конвейерные датчики скорости РДКС-01А [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: [http://www.promradar.ru/data/data\\_html/price/price.htm](http://www.promradar.ru/data/data_html/price/price.htm)
20. Шланговые клапаны FLOWROX [Электронный ресурс] : каталог продукции. – Режим доступа: <http://www.flowrox.ru/>
21. SIEMENS SIMATIC S7-300 [Электронный ресурс] : электронный каталог. – Режим доступа: <https://mall.industry.siemens.com>
22. Промышленные сети SIMATIC NET. Русская документация по SIMATIC выпуск 02/2007. ООО «Сименс» Департамент «Техника автоматизации и приводы»
23. Рабочая документация ПТ.06.ПК.699.10 Автоматизированная система управления технологическими процессами Олимпиадинского ГОК (Золотоизвлекательная фабрика №3), 2011. – 97с.
24. Цымбал, В.П. Математическое моделирование металлургических процессов: учебное пособие для вузов. Москва.: Металлургия, 1986. – 240 с.
25. Айвазян С.А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных: Справочное издание / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – Москва.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
26. Елисеева И.И. Практикум по эконометрике: учеб. пособие / С.В. Курышева, Н.М. Гордеенко и др. – Москва.: Финансы и статистика, 2003. – 192 с.
27. Воскобойников Ю.Е. Эконометрика в Excel: парные и множественные регрессионные модели: Учебн. Пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 260 с.
28. Все о металлургии [Электронный ресурс]. URL: <http://metal-archive.ru/>. [дата обращения 06.04.2020].
29. Data Mining – интеллектуальный анализ данных [Электронный ресурс]. URL: <http://www.inftech.webservis.ru/it/database/datamining/ar2.html> [дата обращения 06.04.2020].
30. Xianjun Ni. Research of Data Mining Based on Neural Networks. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2008. № 39. pp. 381–384.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра автоматизации производственных процессов в металлургии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


 Т.В. Донцова  
подпись

« 8 » июля 2020 г.


**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

**Использование нейросетевого моделирования для прогнозирования  
технологических параметров измельчения золотосодержащей руды**

Направление 27.04.04 Управление в технических системах  
Магистерская программа 27.04.04.02 Автоматизация и управление  
техническими системами в металлургии

Научный  
руководитель  04.07.2020 доцент, канд. техн. наук Г.Б. Данькина  
подпись, дата

Выпускник  01.07.2020 В.А. Якимчук  
подпись, дата

Рецензент  главный научный сотрудник  
отдела вычислительной  
математики ИВМ СО РАН,  
д-р физ.-мат. наук В.М. Белолипецкий  
подпись, дата

Нормоконтролер  06.07.2020 Г.Б. Данькина  
подпись, дата

Красноярск 2020

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт цветных металлов и материаловедения

Кафедра автоматизации производственных процессов в металлургии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Т.В. Донцова

подпись

« 19 »  2020 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме магистерской диссертации**

Студенту Якимчуку Владиславу Александровичу

Группа ЦМ18-37М Направление 27.04.04

Управление в технических системах

Тема выпускной квалификационной работы «Использование

нейросетевого моделирования для прогнозирования технологических

параметров измельчения золотосодержащей руды»

Утверждена приказом по университету № 6264/с от 19.05.2020 г.

Руководитель ВКР Г.Б. Данькина, канд. техн. наук, доцент каф. АППМ

Исходные данные для ВКР материалы практик, научно-исследовательской  
работы, патенты, научные статьи, тезисы.

Перечень разделов ВКР: Технология процессов дробления и измельчения,

Автоматизация процесса измельчения, Корреляционно- регрессионный

анализ для определения зависимостей между технологическими параметрами,

Нейросетевое моделирование для прогнозирования параметров мельницы.

Перечень графического материала \_\_\_\_\_

Руководитель ВКР

  
подпись

Г.Б. Данькина

Задание принял к исполнению

  
подпись

В.А. Якимчук

« 20 » февраля 2020 г.