

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький інженерний інститут Запорізького національного університету  
Факультет металургії  
Металургійне обладнання

## ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему «ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ  
МАТЕРІАЛІВ В ДРОБАРЦІ РОТОРНОГО ТИПУ»

Виконав: магістрант групи МБ-18мз

Німаніхін С.В.

(ПІБ)

  
(підпис)

спеціальності 133- «Галузеве машинобудування»

(шифр і повна назва)

спеціалізація

(шифр і повна назва)

освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і повна назва)

Керівник Шевченко І.А.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Запоріжжя – 2020

Запорізький інженерний інститут Запорізького національного університету  
( повне найменування вищого навчального закладу )

Факультет металургії

Кафедра металургійного обладнання

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація \_\_\_\_\_

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Й.К. Огінський

“ 11 ” 09 2019 року

## ЗАВДАННЯ ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

Німаніхін Сергій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація процесу дроблення матеріалів в дробарці роторного типу

керівник роботи к.т.н., доцент Шевченко І.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “10” вересня 2019 року №1541-С







2. Термін подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: Технологічні вимоги до процесу подрібнення матеріалів; ефективність процесу дроблення дробарками переважної статичної дії; технічні характеристики роторних дробарок; літературний огляд світових досягнень відносно дроблення в роторних дробарках. Інші вихідні дані вибираються магістрантом самостійно на підставі аналізу джерел інформації за темою дослідження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд сучасного стану процесу руйнування крихких матеріалів і конструкцій валкових дробарок; 2. Теоретичний аналіз процесу дроблення матеріалів в дробарках переважної статичної дії; 3. Експериментальні дослідження процесу дроблення.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових складових): Графічний матеріал має бути кількістю не більш 8 одиниць плакатів. На яких розкривається суть магістерської роботи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

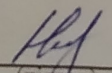
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шевченко І.А.		
2	Шевченко І.А.		
3	Шевченко І.А.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

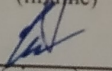
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Узгодження і затвердження теми та змісту роботи; складання бібліографії та опрацювання літературних джерел	01.09.2019 - 17.09.2019	
2	Збирання матеріалу, опрацювання нормативних документів	17.09.2019-15.10.2019	
3	Аналіз зібраного матеріалу	15.10.2019-11.12.2019	
4	Виконання основної частини роботи та проведення експериментальних досліджень	15.10.2019-01.12.2019	
5	Підготовка висновків	01.12.2019-11.12.2019	
6	Оформлення роботи	11.12.2019-20.12.2019	
7	Перевірка відповідності оформлення роботи встановленим вимогам	20.12.2019-25.12.2019	
8	Рецензування магістерської роботи	25.12.2019 - 08.01.2020	
9	Попередній захист роботи	Згідно графіку	
10	Захист роботи у ДЕК	.01.2020	

Студент

  
(підпис)

Керівник роботи

  
(підпис)

Німаніхін С.В.  
(прізвище та ініціали)

Шевченко І.А.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Німаніхін С.В. Оптимізація процесу дроблення матеріалів в дробарці роторного типу.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник І.А.Шевченко. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет металургії, кафедра «Металургійне обладнання», 2020.

В роботі проведено: аналіз стану питання по темі; обґрунтування граничного стану бил; приведено модель взаємодії робочої грані бил з дробимим матеріалом.

За результатами проведених досліджень розроблена й запропонована методика оцінки оптимального ресурсу бил та прогнозування ресурсу різних конструкцій бил.

Ключові слова: ДРОБАРКА, РОТОР, РУЙНУВАННЯ, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ЗНОС, ЗМІЦНЕННЯ, НАПЛАВЛЮВАННЯ, РЕСУРС, БИЛО, БИЛОТРИМАЧ.

## ABSTRACT

Nimanichin S.V. Optimization of the material crushing process in a rotary crusher.

Qualification graduation work for the degree of higher education of master's degree in specialty 133 – Branch of mechanical engineering, supervisor IA Shevchenko. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgical Equipment, 2020.

In the work the following is conducted: analysis of the status of the question on the topic; substantiation of the limiting state of beats; the model of interaction of the working face of beats with fractional material is presented.

According to the results of the conducted researches, the technique of estimation of the optimal pile life resource and the prediction of the resource of different pile structures were developed and proposed.

Keywords: CRUSHER, ROTOR, DESTRUCTION, ENERGY, WEAR, STRENGTH, DEFINITION, RESOURCE, WHETHER, WHEEL HOLDER.

## **АННОТАЦИЯ**

Ниманихин С.В. Оптимизация процесса дробления материалов в дробилке роторного типа.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 133 – Отраслевое машиностроение, научный руководитель И.А.Шевченко. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет металлургии, кафедра «Металлургическое оборудование», 2020.

В работе проведены: анализ состояния вопроса по теме; обоснование предельного состояния бил; приведены модель взаимодействия рабочей грани бил с дробимым материалом.

По результатам проведенных исследований разработана и предложена методика оценки оптимального ресурса бил и прогнозирования ресурса различных конструкций бил.

Ключевые слова: ДРОБИЛКА, РОТОР, РАЗРУШЕНИЕ, ЭНЕРГОЗАТРАТЫ, ИЗНОС, УКРЕПЛЕНИЕ, НАПЛАВКИ, РЕСУРС, БИЛО, БИЛОДЕРЖАТЕЛЬ.

## ЗМІСТ

	с.
Перелік умовних означень.....	8
Вступ.....	9
1 Огляд та аналіз науково-технічних рішень за темою роботи	
1.1 Поняття про процес дроблення.....	11
1.2 Класифікація машин для дроблення.....	15
1.3 Характеристики вихідного і готового продуктів.....	18
1.3.1 Міцність.....	18
1.3.2 Крихкість.....	19
1.3.3 Абразивність.....	19
1.3.4 Крупність шматків.....	22
1.3.5 Зерновий склад продукту дроблення.....	23
1.3.6 Крупність вихідної маси.....	24
1.4 Класифікація роторних дробарок.....	25
1.5 Поняття та характер процесу зносу.....	37
1.6 Огляд оригінальних конструкцій і елементів молоткових дробарок...	39
1.7 Висновки по розділу.....	48
2 Аналітичні дослідження процесу дроблення в роторних дробарках	
2.1 Моделювання роторної дробарки.....	50
2.1.1 Вибір окружної швидкості бил ротора.....	55
2.1.2 Вибір вихідного матеріалу моделі.....	56
2.2 Продуктивність.....	60
2.2.1 Розрахунок максимальної продуктивності однороторної дробарки з вільним розвантаженням.....	60
2.2.2 Наближене визначення продуктивності по головним параметрам	69
2.3 Данні по знос деталей дробарок.....	71
2.3.1 Била ротора.....	71

2.3.2 Ротор.....	72
2.3.3 Решітка і відбивні плити.....	73
2.3.4 Бічне футерування.....	73
2.4 Висновки та рекомендації по розділу.....	74
3 Результати експериментального дослідження процесу зносу бил	
3.1 Програма досліджень.....	76
3.2 Методика експериментальних досліджень й проведення експерименту.....	77
3.3 Точність вимірювань.....	79
3.4 Проведення експерименту й аналіз результатів досліджень.....	80
3.5 Вплив ступеня зносу бил на показники процесу дроблення.....	85
3.6 Висновки по розділу.....	86
4 Охорона праці та навколишнього середовища	
4.1 Пилоутворення і боротьба з пилом.....	87
4.2 Шум я заходи щодо зниження його рівня.....	91
4.3 Технічне обслуговування роторних дробарок.....	94
Висновки .....	98
Список використаних джерел.....	99
Додатки.....	103

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

МПа	- мега Паскаль (напруження)
МН	- мега ньютон (сила)
м <sup>3</sup>	- метр у кубі (об'єм)
кг	- кілограми (вага)
см	- сантиметр (довжина)
т	- тони (вага)
г/т	- грам на тону (показник абразивності)
мг	- міліграм (вага)
%	- відсотки
°	- градуси (міра кута)
м/с	- метрів за секунду (швидкість)
кгс/м	- кілограм сила на метр (навантаження)
кгс/см <sup>2</sup>	- кілограм сила на сантиметр у квадраті (напруження)
кгс/см <sup>3</sup>	- кілограм сила на сантиметр у кубі (щільність)
г/см <sup>3</sup>	- грам на сантиметр у кубі (щільність)
м/с <sup>2</sup>	- метр на секунду у квадраті (прискорення)
м <sup>3</sup> /год	- метр кубічний на годину (продуктивність)
г/т	- грам на тону (абразивність)
год	- година (час)
НРСэ	- Твердість по Роквелу
кДж/м <sup>2</sup>	- Кілоджоуль на метр у квадраті (в'язкість)
кг/г	- кілограм на грам (показник зносостійкості)



## ВСТУП

На знос робочих органів в дробарках різних типів доводиться іноді до 30% витрат на дроблення, і тому він має дуже важливе значення при виборі типу дробарки. У роторних ж дробарках знос в деяких випадках є вирішальним чинником і тому заслуговує всебічного вивчення. Виходячи з цього, очевидно, що особливу значимість представляють розробки нових і вдосконалення існуючих процесів дроблення. Таким чином, актуальними є практично всі наукові і технічні рішення в цьому напрямку.

**Мета дослідження.** Знаходження питомих витрат в дроблячих елементах та билах при дробленні, шляхом вивчення та дослідження процесу дроблення з обґрунтуванням параметрів дробарки роторного типу.

**Завдання дослідження.**

- а) Провести аналіз факторів, що впливають на ефективність роботи дробарок.
- б) Теоретично і експериментально обґрунтувати процес зносу бил та інших робочих органів роторних дробарок.
- в) Обґрунтувати оптимальні робочі параметри бил роторних дробарок.
- г) Розробити методику оцінки зносу робочих органів (бил) дробарок.
- д) Дати технічну оцінку і рекомендації по отриманим результатам.

**Об'єкт дослідження.** Дробарка роторного типу та процес зносу бил в дробарках роторного типу.

**Наукова новизна.** В результаті теоретичних і експериментальних досліджень визначено залежності зносу поверхонь бил від матеріалу робочої грані молотка.

Запропоновано методика оцінки оптимального ресурсу бил та прогнозування ресурсу різних конструкцій бил.

**Практична цінність:** На підставі проведених досліджень обґрунтовані параметри роторної дробарки та бил, які забезпечують підвищення ресурсу роботи молотка і дробарки в цілому, а також її ефективність експлуатації.

На підставі проведених досліджень запропоновано технічне рішення по заміні дроблячих елементів, які забезпечують дроблення зі значним зниженням матеріальних витрат. Пропонована дробарка призначена для використання в металургійних та видобуваючих підприємствах.

**Апробація:** Основні положення магістерської роботи повідомлені, обговорені і схвалені на конференції у тезах доповідей: «XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів, м. Запоріжжя – 2019» (ДОДАТКИ П, Р) [49, 50].

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

## 1.1 Поняття про процес дроблення

Процес зменшення розмірів пружно-крихкого тіла від початкової (вихідної) крупності до необхідної шляхом впливу зовнішніх сил називається дробленням або помелом, а машини, які застосовуються для цих цілей, дробарками або млинами.

Залежно від кінцевої крупності шматків матеріалу (мм) розрізняють наступні основні види цього процесу:

- а) дроблення: велике 100 - 350 мм, середнє 40 - 100 мм, дрібне 5 - 40 мм;
- б) помел: грубий 5 - 0,1 мм, тонкий 0,1 - 0,05 мм, надтонкий менш 0,05 мм.

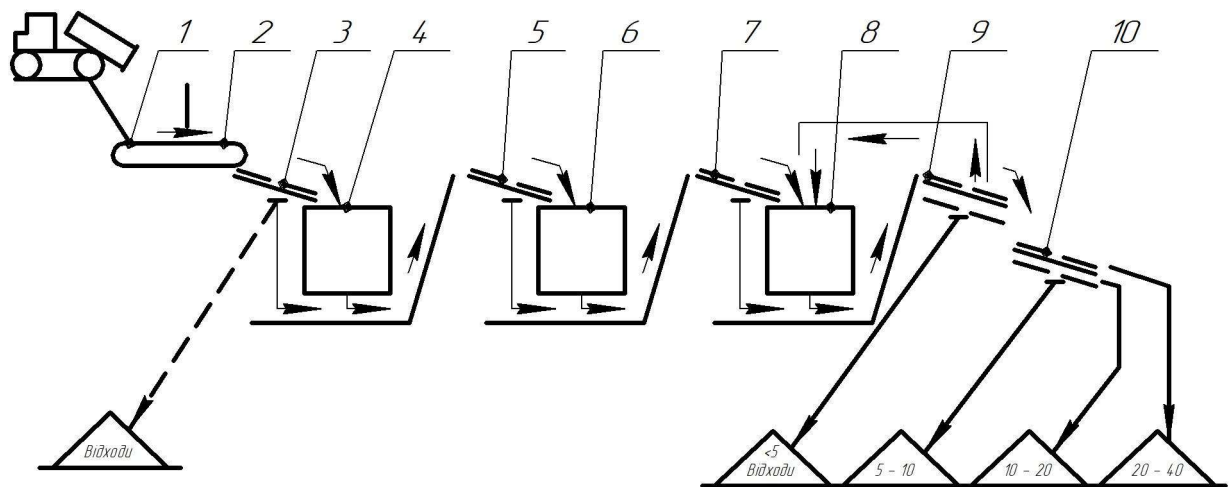
Зменшення розміру шматків менше 5 мм (помел) здійснюється в різного роду млинах, які в цій роботі не розглядаються.

У гірничо-рудної, цементної промисловостях дроблення є підготовчим процесом, так як отримуваний після дробарок продукт направляється на подальшу переробку. В інших випадках, наприклад в промисловості будівельних матеріалів при виробництві щебню або у вугільній промисловості при дробленні вугілля для брикетування, коксування і ін., після дробарок виходить кінцевий (товарний) продукт, тобто процес дроблення має самостійне значення.

Для забезпечення ефективності дроблення матеріалу від вихідної до кінцевої крупності цей процес здійснюється в більшості випадків в кілька прийомів, тобто послідовно на декількох дробарках. Кожна окрема дробарка виконує частину загального процесу, звану стадією дроблення [1].

На рисунку (Рисунок 1.1) приведена спрощена принципова схема трьохстадійного процесу переробки гірських порід для отримання будівельного щебню крупністю до 40 мм.

Вихідна гірнична маса шматками розміром до 1200 мм надходить в бункер 1 і живильником 2 подається на попереднє сортування на важких колосникових грохотах 3. При попередньому сортуванні з вихідної гірської маси відбирається матеріал, що не вимагає дроблення в машинах стадії великого дроблення. Залежно від ступеня забруднення нижній продукт, тобто що пройшов через колосники, може бути направлений на подальше дроблення або виключений з процесу переробки (спрямований в відхід). Верхній продукт надходить в дробарку 4 крупного дроблення, де розмір окремих шматків зменшується до 125 - 250 мм – крупності, що забезпечує нормальну роботу дробарок наступної стадії.



1 – бункер; 2 – живильник; 3 – колосникові грохоти; 4 – дробарка крупного дроблення; 5 – гуркіт для проміжного сортування; 6 – машина середнього дроблення; 7 – гуркіт для проміжного сортування; 8 – дробарки дрібного дроблення; 9 – гуркіт повірочного (контрольного) просівання; 10 – гуркіт

Рисунок 1.1 – Принципова схема трьохстадійного процесу переробки гірських порід

Нижній продукт після попереднього сортування н матеріал, що пройшов стадію великого дроблення, подають на гуркіт 5 для проміжного сортування, призначення якого виключити з потоку матеріалу продукт, який не потребує переробки в машині 6 стадії середнього дроблення. Завдяки цьому знижується навантаження на дробарку середнього дроблення і зменшується передроблення матеріалу. На цій стадії відбувається подальше зменшення розмірів шматків породи (до 40 - 100 мм). Залежно від необхідної крупності, продуктивності і виду породи на цій стадії дроблення встановлюють одну або паралельно кілька дробарок середнього дроблення.

Нижній продукт першого гуркоту 5 для проміжного сортування і продукт, що пройшов дробарку 6 стадії середнього дроблення, надходять на другий гуркіт 7 для проміжного сортування. Дробарки 8 дрібного дроблення, встановлені на третій стадії, переробляють матеріал, отриманий на попередніх стадіях, до товарного розміру (в даному випадку до 40 мм).

Після дробарок стадії дрібного дроблення матеріал надходить на гуркіт 9 повірочного (контрольного) просівання. На гуркоті верхнє сито встановлюють на фракцію готового продукту максимального розміру. З цього сита верхній продукт, тобто зерна породи крупніше максимально заданого розміру (більше 40 мм), повертається в дробарки третьої стадії на повторне дроблення. Цим здійснюється замкнутий цикл дроблення. При замкнутому циклі на 25 - 30% підвищується продуктивність дробарок останньої стадії, так як допускається їх робота з більш широкими вихідними щілинами. Крім того, замкнутий цикл дозволяє більш точно витримувати вимоги відносно допустимої крупності готового продукту.

Середній продукт з гуркоту 9 для залишкового сортування направляється на гуркіт 10, на якому отриманий матеріал розділяється на товарні фракції, в даного випадка 5 - 10 мм, 10 - 20 мм, 20 - 40 мм. З цих грохотів матеріал надходить на склади готової продукції, звідки відвантажується споживачеві.

Показана на рисунку (Рисунок 1.1) технологічна схема отримання щебню є спрощеною. Насправді, щоб отриманий в кар'єрі порода (гірську масу) перетворити в будівельний матеріал високої якості, в більшості випадків необхідно виконати складаний технологічний процес, який крім основних процесів дроблення і сортування включає ще ряд додаткових, наприклад мийка, зневоднення та ін. Слід врахувати, що як вид процесу, так і обладнання для його здійснення призначають на основі характеристики вихідної породи, вимог до готового продукту й заданої продуктивності підприємства.

Для виконання перерахованого видів робіт необхідна велика кількість різноманітних машин, причому смороду повинні працювати в єдиному комплексі, забезпечує правильну взаємозв'язок між машинами і дозволяє найбільш повно механізувати й автоматизувати технологічний процес. Правильно вибране обладнання, особливо обладнання для дроблення, дозволяє отримати високоякісну продукцію при мінімальних матеріальних витрати, тобто дозволяє значний знизити вартість готової продукції.

Процеси дроблення присутні в багатьох галузях народного господарства, і кожна галузь накладає свою специфіку на самі процеси і на конструкції використовуваних дробарок.

У ряді випадків вихідна сировина представляє собою гірську масу (або будь-якої інший матеріал), що містить різні за міцністю компоненти. В результаті переробки цієї масі потрібно віділяти міцні складові, що досягається застосування так званого «виборче дроблення». При такому розподілі дробарка налаштована таким чином, що більш інтенсивно руйнуються слабкі складові, а міцні руйнуються незначно або не руйнуються зовсім. Після дробарки на гуркоті розсіюють отриманий матеріал і слабкі складові, що мають менші розміри частинок, відокремлюються від міцних.

Дробарки, які використовують для установки на заводах, які переробляють побутові відходи великих міст – сміттядробарки, крім великої продуктивності

повинні мати здатність переробляти різний по міцності і іншим характеристикам матеріал (кістка, скло, пластмасу та ін.).

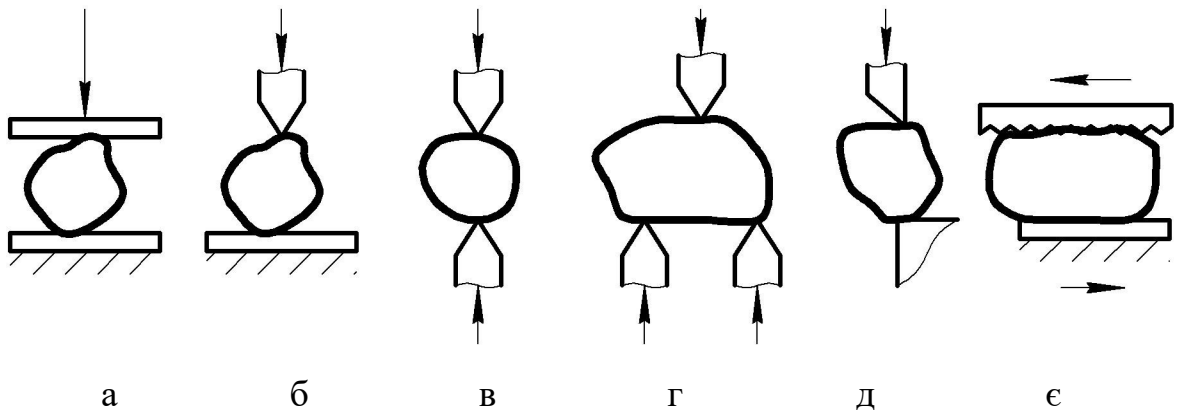
Дробарки для дроблення металевої стружки на підприємствах Вторчермета и Вторкольормет повинні видавати шматки розміром 0,5-50 мм, так як інший розмір не забезпечує економічність переробки. Потрібні дробарки для дроблення чавунного брухту і особливо міцного ферохрому, а також зовсім не міцних, але слизьких: тальку і нафталіну. Крім того продуктивність дробарки для лабораторних цілей повинна бути кілька кілограмів на годину, дробарки для крупного гірничо-збагачувального комбінату – кілька тисяч тон на годину.

Тут відзначено лише велика різноманітність матеріалів, що підлягають дробленню, а значить велика різноманітність вимог до процесів і до здійснює їх машинам – дробарки [2].

## 1.2 Класифікація машин для дроблення

У дробильної машини в залежності від її призначення і принципу дії можуть використовуватися такі види навантажень: розчавлювання (Рисунок 1.2а), удар (Рисунок 1.2б), розколювання (Рисунок 1.2в), злам (Рисунок 1.2г,д), стирання (Рисунок 1.2є).

У більшості випадків різні види навантажень діють одночасно, наприклад розчавлювання і стирання, удар і стирання та ін. Необхідність в різних видах навантажень, а також в різних за принципом дії конструкціях і розмірах машин викликається різноманітністю властивостей і розмірів подрібнюють матеріалів, а також різними вимогами до крупності вихідного і готового продуктів. Відомий радянський вчений – основоположник теорії дробильних машин проф. Л. Б. Левенсон ще в 1933 р писав: «Можна, мабуть, сказати, що жоден клас машин не



а – роздавлювання; б – удар; в – розколювання; г,д – злам; е – стирання

Рисунок 1.2 – Схема методів дроблення

володіє таким багатством конструктивних форм, як дробильні машини». Ця фраза цілком справедлива і зараз.

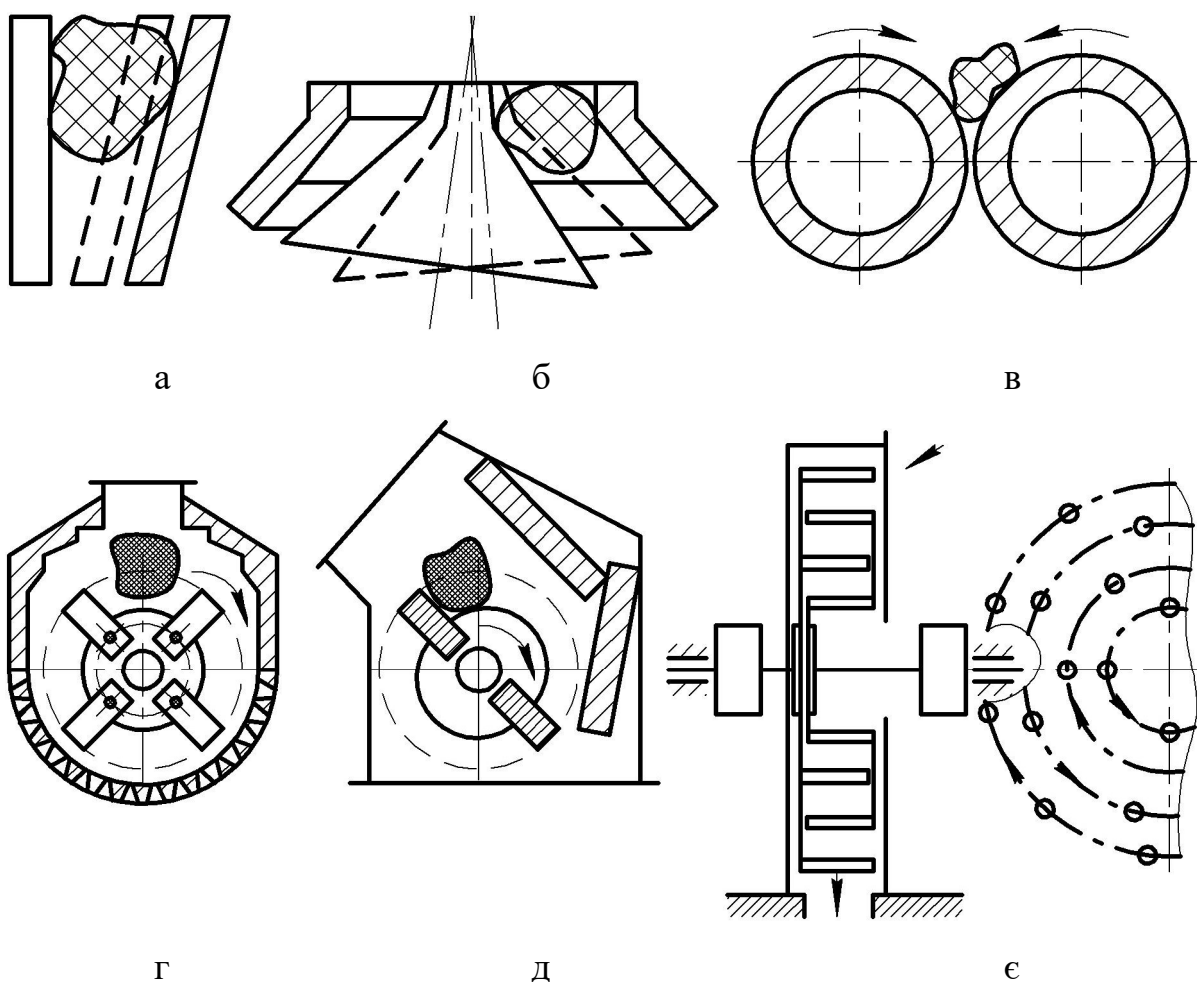
За принципом дії і конструкції розрізняють дробарки наступних основних видів (Рисунок 1.3):

- а) щоківі (Рисунок 1.3а), в яких матеріал дробиться роздавлюванням, розколюванням і частковим стиранням в просторі між двома щоками при їх періодичному зближенні;
- б) конусні (Рисунок 1.3б), в яких матеріал дробиться роздавлюванням, зломом, частковим стиранням між двома конічними поверхнями, одна з яких рухається ексцентрично по відношенню до іншої, здійснюючи тим самим безперервне дроблення матеріалу;
- в) валкові (Рисунок 1.3в), в яких матеріал роздавлюється між двома валками, що обертаються один назустріч іншому, або валками і нерухомою поверхнею, нерідко валки обертаються з різною частотою, і тоді роздавлювання матеріалу поєднується з його стиранням;
- г) ударної дії, які, в свою чергу, поділяються на молоткові (Рисунок 1.3г) і роторні (Рисунок 1.3д). У молоткових дробарках матеріал подрібнюється в основному ударом по ньому шарнірно підвішених молотків, а також стиранням. У роторних дробарках дроблення досягається в результаті



удару по матеріалу жорстко прикріплених до ротора бив, удару шматків матеріалу про відбивні плити і зіткнення шматків.

д) у машинах, так званих дезінтеграторах (Рисунок 1.3є) два циліндра, що утворюють яких представляють собою стрижні, жорстко закріплені в підставі. Циліндри (кошики) обертаються в різні боки, подрібнюючи потрапив в сферу їх обертання матеріал. Дезінтегратор може бути віднесений і до дробарки і до млинів, так як готовий продукт зазвичай має крупність близько 5 мм і менше.



а – щоківі; б – конусні; в – валкові; г – молоткові; д – роторні; є – дезінтегратор

Рисунок 1.3 – Схеми дробарок

### 1.3 Характеристики вихідного і готового продуктів

При виборі дробильної машини або комплекту машин обов'язково враховують фізико-механічні властивості вихідного продукту: міцність \* крихкість, абразивність, крупність шматків, а також необхідну крупність шматків готового продукту.

#### 1.3.1 Міцність

Міцність – властивість гірської породи чинити опір руйнуванню при виникненні внутрішніх напружень, що з'являються в результаті якого-небудь навантаження (наприклад, при механічному стисканні). Кількісними показниками цієї властивості служать так звані межі міцності на стиск  $\sigma_{cm}$  і на розтягнення  $\sigma_p$ . Обидва показники можна визначити експериментально за допомогою преса на нормалізованих зразках кубічної або циліндричної форми, використовуючи співвідношення

$$\sigma_{cm(p)} = \frac{P}{F}, \quad (1.1)$$

де  $\sigma_{cm(p)}$  - межа міцності на стиск (розтягнення), МПа;

$P$  - руйнівне зусилля, МН;

$F$  - площа перетину зразка в площині, перпендикулярній до руйнівної зусиллю, м<sup>2</sup>.

### 1.3.2 Крихкість

Крихкість – властивість гірської породи руйнуватися без помітних пластичних деформацій.

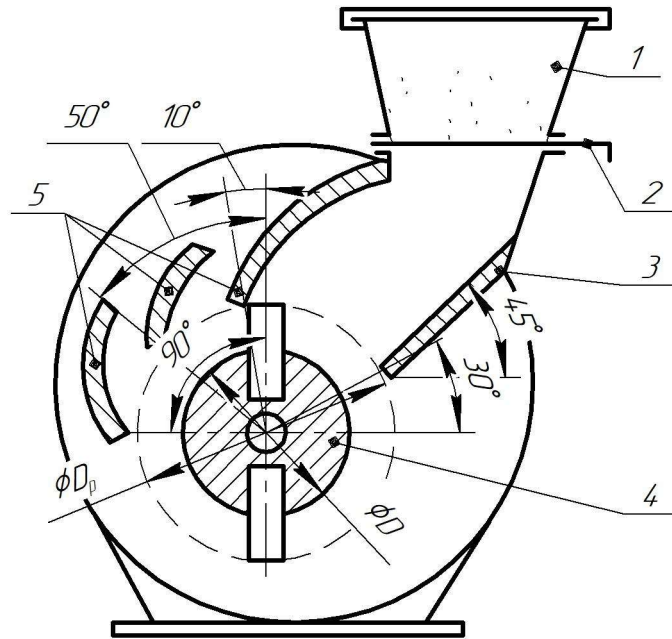
Існують різні методи кількісної оцінки крихкості. При випробуванні будівельних матеріалів часто використовують методику, по якій крихкість дробимого матеріалу визначають за кількістю ударів гирі масою в 2 кг, що падає кожен раз з висоти, що перевищує попередню на 1 см, до руйнування зразка. Випробування проводять на нормалізованих зразках циліндричної форми. За кількістю ударів, витримує зразками, породи поділяють на такі типи:

- а) дуже тендітні до 2;
- б) тендітні 2 - 5;
- в) в'язкі 5 - 10;
- г) дуже в'язкі більше 10.

### 1.3.3 Абразивність

Абразивність – здатність матеріалу, що переробляється, зношувати робочі органи машин. Абразивність дробимого матеріалу особливо важливо знати при визначенні раціональної області використання устаткування, яке застосовується для переробки. За методикою, розробленою ВНИИСтройдормашем, абразивність висловлюють в грамах зносу еталонних бив, віднесених до 1 т передробленого матеріалу.

Для визначення показника абразивності використовують прилад, який представляє собою модель роторної дробарки (Рисунок 1.4). Прилад складається з бункера 1, куди завантажуються порція матеріалу; шиберної заслінки 2; похилого лотка 3, що забезпечує подачу матеріалу під удари бив в певному місці; ротора 4 з укріпленими на ньому білами й трьох відбивних плит 5.



1 – бункер; 2 – шиберної заслінка; 3 – похилий лоток; 4 – ротор; 5 – відбивні плити

Рисунок 1.4 – Прилад для визначення показника абразивності

Для визначення абразивності матеріалу підготовляють порцію матеріалу масою 1 кг і розміром 10 - 20 мм. Біла-зразки виготовляють зі сталі 45 і термічно обробляють до твердості 30 - 35 НRCз. Після того як через прилад буде пропущено певне число проб, біла-зразки знімають і зважують. Такі визначення проводять мінімум 3 рази.

Показник абразивності, г/т

$$I = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{\Delta m_1}{M_1} + \frac{\Delta m_2}{M_2} + \frac{\Delta m_3}{M_3} \right), \quad (1.2)$$

де  $\Delta m_1, \Delta m_2, \Delta m_3$  - втрати в масі зразків бил, що визначаються з точністю до 0,2 мг;

$M_1, M_2, M_3$  - маси матеріалу що переробляється, кг.

Показник *I* абразивності визначають при окружній швидкості 30 м/с ( $I_{30}$ ). При роботі дробарки на інших швидкостях питома знос робочих органів істотно змінюється. Так, при збільшенні окружної швидкості в 2 рази, з 30 до 60 м/с, питомих знос матеріалу бил роторних дробарок зростає приблизно в 4 рази. Використовуючи показник ВНДІстройдормаш запропонував розділити всі гірські породи в залежності від їх абразивності на 10 категорій (Таблиця 1.1)

Таблиця 1.1 – Шкала ВНДІстройдормаша для оцінки абразивності матеріалів

Клас абразивності	Категорія абразивності	Показник абразивності $I_{30}$ , г/т	Матеріал
Неабразивні	0	1	Тальк, аргіліт, чистий кам'яне вугілля
Малоабразивні	I	1-2	Вапняк, мрамур, алевроліт, аргіліт, кам'яне вугілля, дрібнозернистий пісковик
	II	2-4	
	III	4-8	
Середньої абразивності	IV	8-16	Вапняк середньої абразивності, піщаник, цегла, сидерит й інші руди
	V	16-32	
	VI	32-65	
Високої абразивності	VII	65-130	Граніт, базальт, діорит, кварцит, міцний піщаник, гравій із вивержених порід, вапняк високої абразивності
	VIII	130-250	
	IX	250-500	
Дуже високою абразивності	X	Більш 500	Конверторний шлак, електропечний шлак, роги́вки, деякі залізнi руди

Як видно, кожна категорія абразивності відрізняється від попередньої збільшенням абразивності в 2 рази, причому максимальна абразивність в категорії більше мінімальної також в 2 рази.

Дана шкала дає можливість порівнювати терміни служби робочих органів роторних або молоткових дробарок при переробці гірських порід різних категорій абразивності при інших рівних умовах, використовуючи коефіцієнт переходу

$$K = 2^{(B-A)}, \quad (1.3)$$

де  $A, B$  - категорії абразивності порівнюваних порід.

Наприклад, якщо порода  $A$  другої категорії, а порода  $B$  сьомий, то робочих органів дробарок на породі  $B$  буде в 32 рази більше ніж на породі  $A$ .

Існують і інші методи визначення абразивності.

#### 1.3.4 Крупність шматків

Крупність шматків характеризуються лінійними розмірами: довжиною  $a$ , шириною  $b$  і товщиною  $c$ . Найчастіше проводиться однозначна характеристика крупності шматка від його діаметру  $d$ , причому визначають її різними способами; наприклад, як середньоарифметичне довжини, ширини і товщини шматка, середньо-геометричні цих величин або (найчастіше) як діаметр кола, описаний навколо ширини і товщини шматка

$$d = (a + b + c)/3, \quad (1.4)$$

$$\left. \begin{aligned} d &= \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}, \\ d &= \sqrt{b^2 + c^2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.5)$$

### 1.3.5 Зерновий склад продукту дроблення

Зерновий склад продукту дроблення, наприклад щебню для будівельних робіт, визначають шляхом розсіву проби на наборі сит з круглими отворами. Маса проби (кг) при оцінці продукту дроблення пов'язана наступною залежністю з максимальною крупністю кусків (зерен) випробовуємого матеріалу

$$M = 0,02 \cdot d^2 + 0,5 \cdot d, \quad (1.6)$$

де  $d$  - максимальний розмір зерна, мм.

Характеристика сит, застосовуваних для розсівання, залежить від найбільшої крупності шматків в випробовуємому продукті. З максимальним розміром шматків до 40 мм застосовують набір сит з кроком отворів 5 мм (5, 10, 15, 35, 40 мм); при крупності 100 мм використовують крок 10 мм, обов'язково застосовуючи сито з отвором 5 мм.

В процесі розсівання обраної проби матеріалу певної крупності, проходячи через набір сит, затримуються, в результаті чого вся проба виявляється розділеною на кілька класів по крупності. Так, при розсіві проби на набір сит з круглими отворами діаметром: 5, 10, 15, 20 мм утворюються класи 0 - 5 (або 5), 5 - 10, 10 - 15, 15 - 20. Залишок на ситі 20 мм називають класом +20.

Далі окремі класи виважують і визначають їх зміст у відсотках по відношенню до загальної маси проби. Щоб отримати більш достовірні результати, відбирають, як правило, кілька проб і після розрахунку визначають середньоарифметичне значення одновимірних класів. За знайденим значенням в прямокутній системі координат графічно зображують зерновий склад за

сумарними виходів (Рисунок 1.5). Якщо по осі ординат відкладати зміст матеріалу (%) крупніше даного діаметра, то характеристика буде побудована «По плюс  $d$ » (крива 1), якщо ж закладати зміст матеріалу (%) менше даного діаметра, - то - «по мінус  $d$ » (крива 2). Обидві криві дзеркально відображають одна одну й будучи побудованими на одному графіку, перетинаються в точці, що відповідає 50% виходу матеріалу.

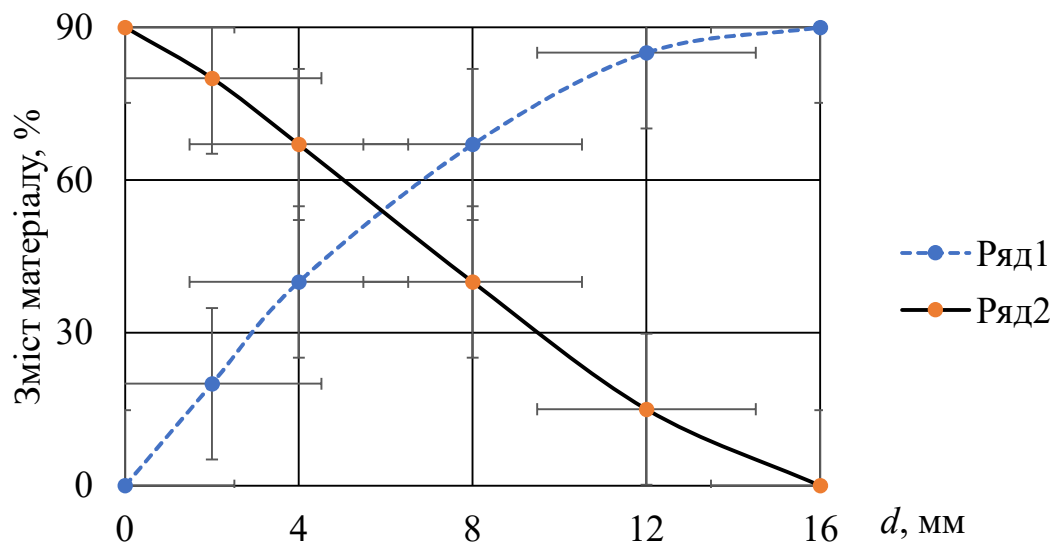


Рисунок 1.5 – Характеристика величини продукту дроблення

### 1.3.6 Крупність вихідної маси

Крупність вихідної гірської маси визначають по мінімальній масі проби, обчисленої за формулою (1.6), що призводить до необхідності розсіва (розбору) надзвичайно великих проб. Наприклад, якщо крупність шматків маси матеріалу досягає 500 мм, то маса проби повинна бути 5,25 т, якщо ж 1000 мм, то 20,5 т.

Співробітники Інституту гірничої справи ім. Л. Л. Скочинського запропонували метод визначення зернового складу гірської маси по її поверхні. Суть методу полягає у використанні планогам або фотокінограмм, за якими визначають сумарну площу, яку займає шматками різної крупності. Відносну (в



%) сумарну площу шматків певного розміру приймають рівною їх відносним вмістом в масі матеріалу.

#### 1.4 Класифікація роторних дробарок

Є багато класифікацій за конструктивними ознаками роторних дробарок, що застосовуються в промисловості. Однак при інтенсивному розвитку дробарок даного типу щорічно з'являлися нові конструктивні рішення і ці класифікації не охоплювали всього різноманіття виконань.

Надалі надається найбільш детальна класифікація, що включає тільки ті зразки, які випробувані в експлуатації.

Дробарки, загальні елементи і деталі яких показані за типовою схемою (Рисунок 1.6), можна класифікувати за технологічними і конструктивними ознаками. До технологічних ознак, визначаючих тип дробарки, відносяться:

- а) крупність прийнятих шматків;
- б) властивості оброблюваного матеріалу;
- в) вимоги, що пред'являються до продукту дроблення.

Деякі фірми визначають тип дробарок по відносній (до діаметру ротора) крупності шматків, цей принцип покладено в основу класифікації по крупності прийнятих шматків і у вітчизняній промисловості. Дробарки поділяються на три класи:

- а) великого дроблення, розраховані на прийом шматків більше 0,3 діаметра ротора;
- б) середнього дроблення – від 0,1 до 0,3 діаметра ротора;
- в) дрібного дроблення – менше 0,1 діаметра ротора.

У ГОСТ12375-70 і ГОСТ12376-71 встановлено розмір найбільших шматків прийнятого матеріалу відповідно (0,5 - 0,6) і 0,3 діаметра ротора. При цьому

дробарки середнього і дрібного дроблення відрізняються лише режимами дроблення. У зарубіжній практиці часто сусідні класи дробарок об'єднуються в один.

Дробарки крупного дроблення призначені головним чином для роботи на першій стадії дроблення, дробарки середнього і дрібного дроблення – для подальших стадій дроблення.

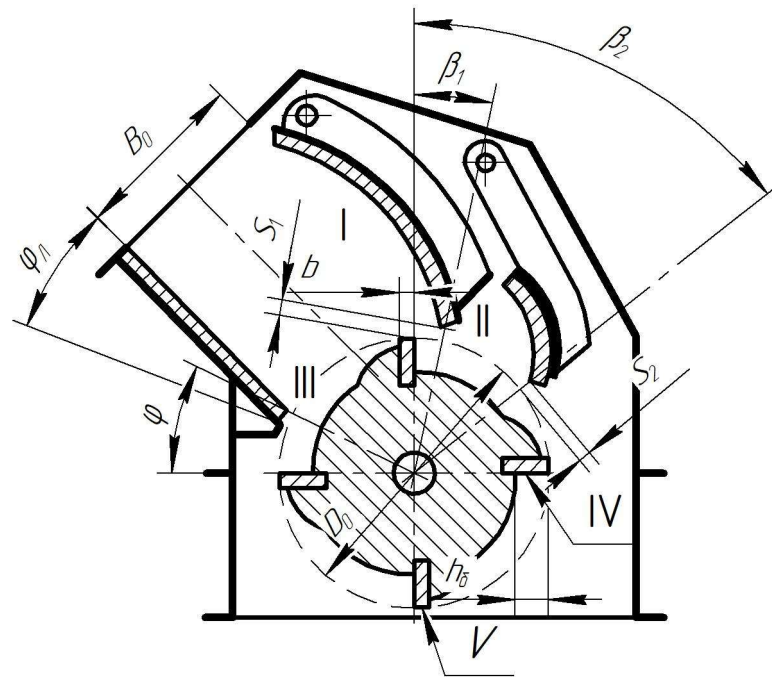


Рисунок 1.6 – Типова схема роторної дробарки

За властивостями матеріалу, що завантажується і вимогам до одержуваного продукту розрізняють машини для дроблення:

- а) порід малої і середньої абразивності (вапняків, доломітів, сланців, аргілітів, мarmуру, пісковика і інших матеріалів, але не більше VII категорії абразивності);
- б) високоміцних і абразивних гірських порід (гранітів, базальтів, діабазів, діоритів, кварцу, кварцитів, руд металів і інших матеріалів більш VII категорії абразивності);

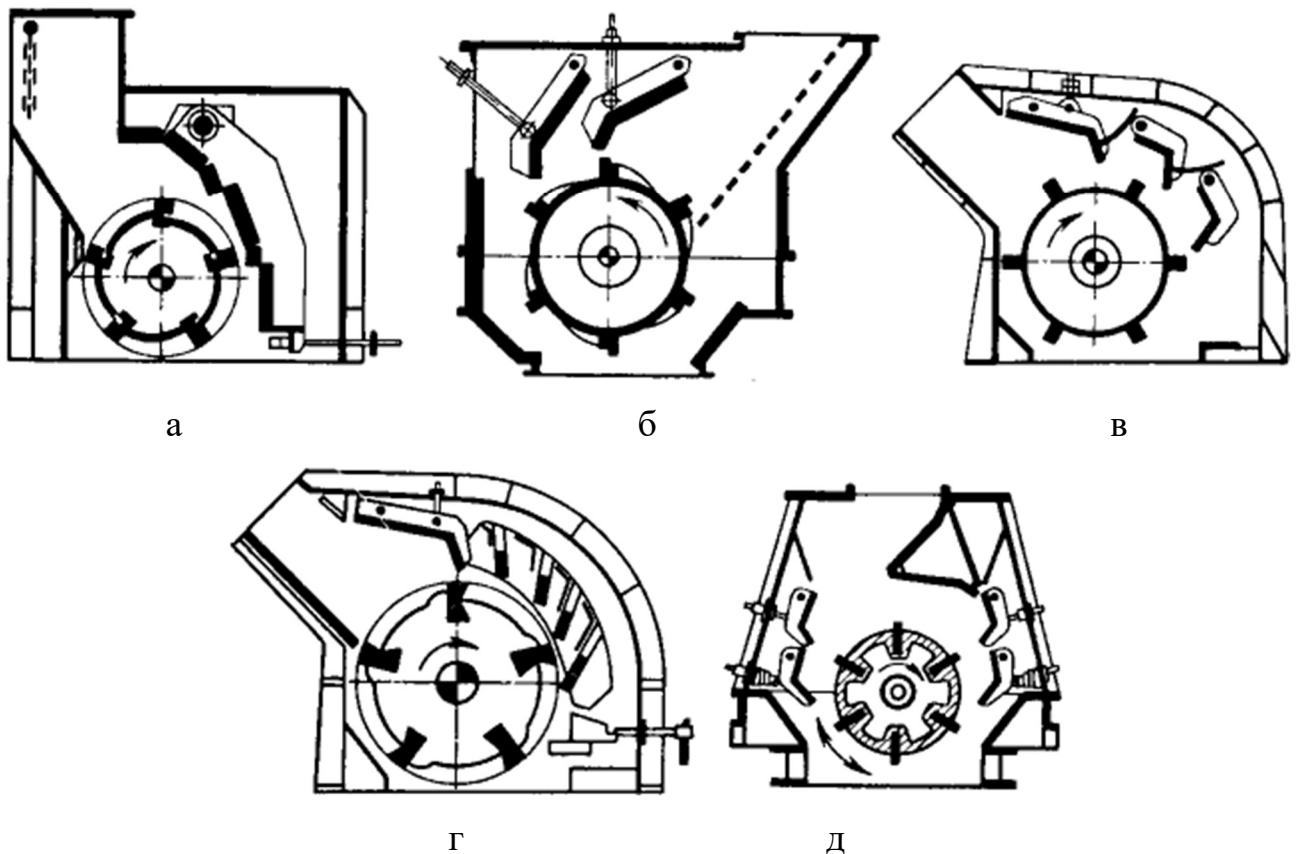
- в) з одночасною промиванням від пилоподібних частинок і глинистих забруднень;
- г) з одночасною підсушкою гарячими газами, які пропускають через дробарку;
- д) з обмеженим виходом зерен з максимальним розміром в продукт дроблення.

Кожен технологічний тип машини визначає і деякі конструктивні особливості, які в загальному не змінюють принципу роботи, за винятком останнього типу дробарок, в яких зазвичай є контрольні колосникові решітки, що охоплюють нижню півколо ротора, де занадто додроблюються шматки при їх затисканні між білами і колосниками. Значно більша різноманітність спостерігається за конструктивними ознаками, обумовлене різними технологічними вимогами, а також суб'єктивним підходом до конструювання.

За конструктивними ознаками роторні дробарки класифікуються (Рисунки 1.9-1.17):

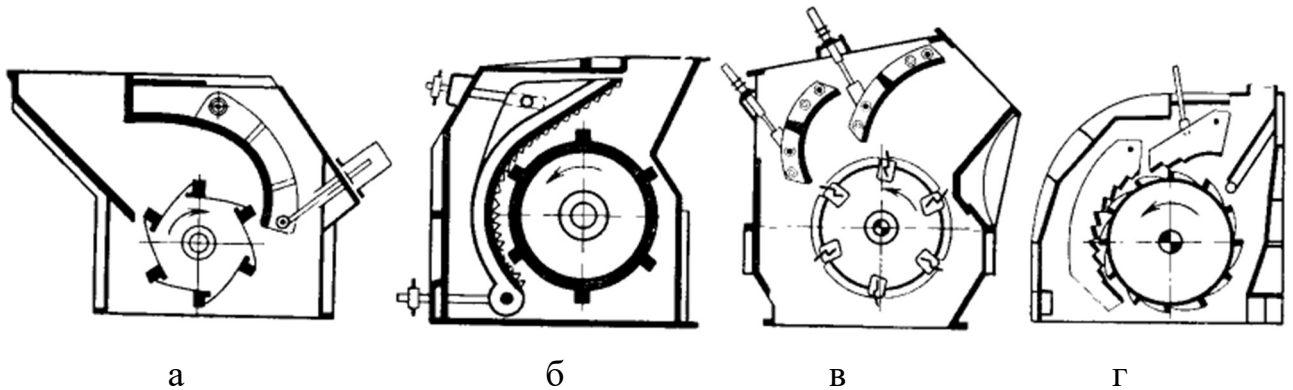
- а) по числу роторів: однороторні (Рисунки 1.7-1.13), що представляють численний клас і найбільш широко поширені, і багатороторні (дво- і трироторна) (Рисунки 1.14-1.17);
- б) за способом розвантаження готового продукту: з вільним розвантаженням (Рисунки 1.7-1.10,а, 1.12, 1.14-1.16), з розвантаженням через контрольні колосникові грати (Рисунки 1.10,б, 1.17), які охоплюють всю нижню півколо ротора повністю, комбіновані (Рисунки 1.11, 1.13), тобто з розвантаженням через контрольні колосникові грати, які охоплюють частину нижньої півкола ротора. Даний тип є проміжним між першим і другим;
- в) за характером виконання відбивних органів: з відбивними плитами (Рисунки 1.7-1.11, 1.16); з відбивними колосниковими гратами (Рисунки 1.12-1.15); з комбінованими відбивними органами (з плитами і колосниковими гратами); (Рисунки 1.12, 1.13,б, 1.14,б);

- г) за способом підвіски відбивних органів: з жорсткою підвіскою (Рисунки 1.10,а, 1.15,б, 1.17); з шарнірною підвіскою (Рисунки 1.7, 1.8, 1.10,б, 1.13,а, 1.16,а,б); з комбінованої підвіскою (Рисунки 1.8,а, 1.9, 1.11, 1.12, 1.13,б, 1.14, 1.15,а). Зазвичай перші відбивні органи мають жорстку підвіску, наступні – шарнірну;
- д) з реверсування обертання ротора: реверсивні (Рисунок 1.7,д), що мають можливість працювати при двоякому обертанні ротора; неревверсивні (Рисунки 1.7,а,б,в,г, 1.8-1.17);



а – однокамерна неревверсивна; б – двокамерна неревверсивна; в – трикамерна неревверсивна; г – п'ятикамерна неревверсивна; д – двокамерна реверсивна

Рисунок 1.7 – Однороторні дробарки з вільною розвантаженням і шарнірною підвіскою відбивних плит, поверхня яких виконана по ламаній лінії



а – гладкою, однокамерна; б – зубчастої, однокамерна; в – гладкою, двокамерна; г – гладкою, чотирнадцятикамерна

Рисунок 1.8 – Однороторні нереверсивні дробарки з вільною розвантаженням і шарнірною підвіскою відбивних плит з криволінійною поверхнею

е) за формою лінії профілю відбивної поверхні: з плоскими поверхнями (Рисунки 1.9,б, 1.12,а, 1.14,а, 1.15,б, 1.16,а); з криволінійними поверхнями (Рисунки 1.8, 1.10,а, 1.11,б, 1.12,а, 1.13, 1.14,б,в,г, 1.15,а, 1.17); з поверхнями, виконаними по ламаній лінії (Рисунки 1.7, 1.9,а, 1.10,б, 1.11,а, 1.12,б,в, 1.16,б,в);

ж) за характером відбивної поверхні: з гладкою поверхнею (Рисунки 1.7, 1.8,а,в,г, 1.9, 1.10,б; 1.11,а; 1.12; 1.14; 1.16, 1.17); з рифленою або зубчастої поверхнею (Рисунки 1.8,б; 1.10,а, 1.11,б).

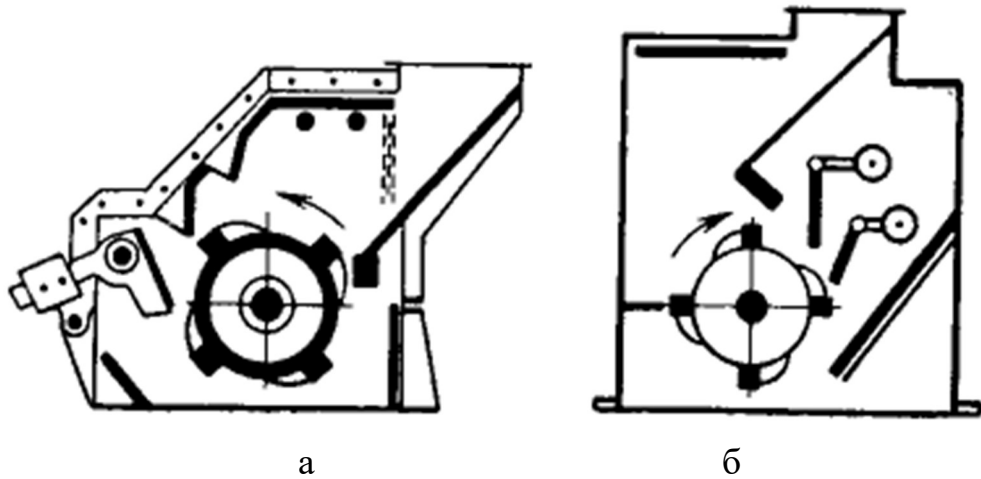
Багатогороторі дробарки поділяються – по числу ступенів дроблення:

а) одноступінчасті, в яких потік матеріалу надходить одночасно на всі ротори (Рисунки 1.15, 1.16); багатоступінчасті (Рисунки 1.14, 1.17), в яких потік роздрібнюванню матеріала надходить послідовно від одного ротора до іншого або від однієї групи роторів до іншої (двох-, триступінчаті і т. д.);

б) по окремоті камер дроблення:

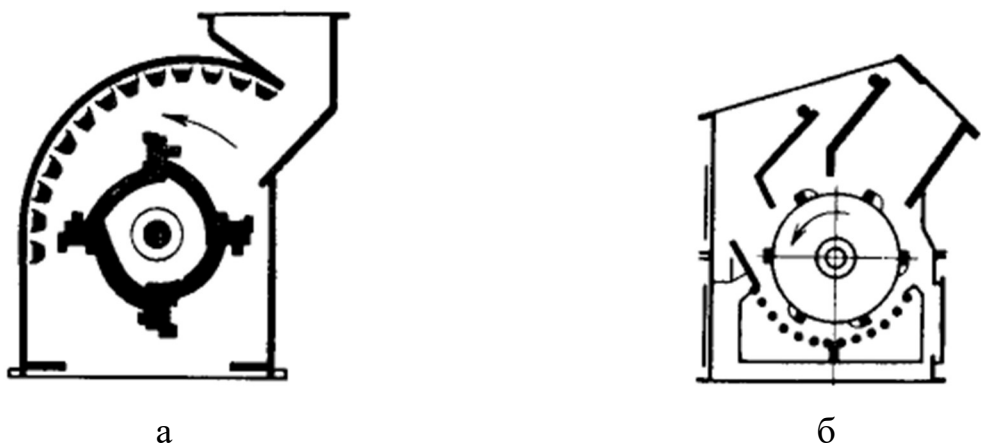
1) з об'єднаними камерами дроблення (Рисунки 1.14,а,б,в, 1.15, 1.16,а,в, 1.17);

2) з роздільними камерами дроблення (Рисунки 1.14,г, 1.16,б).



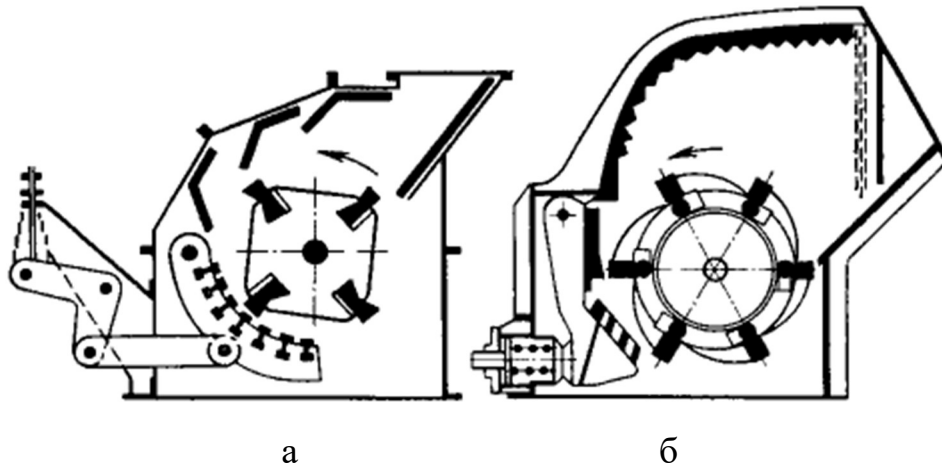
а – двокамерна, поверхня плит виконана по ламаній лінії; б – трикамерна, з плоскими поверхнями плит

Рисунок 1.9 – Однороторні неревсивні дробарки з вільною розвантаженням і комбінованої підвіскою відбивних плит



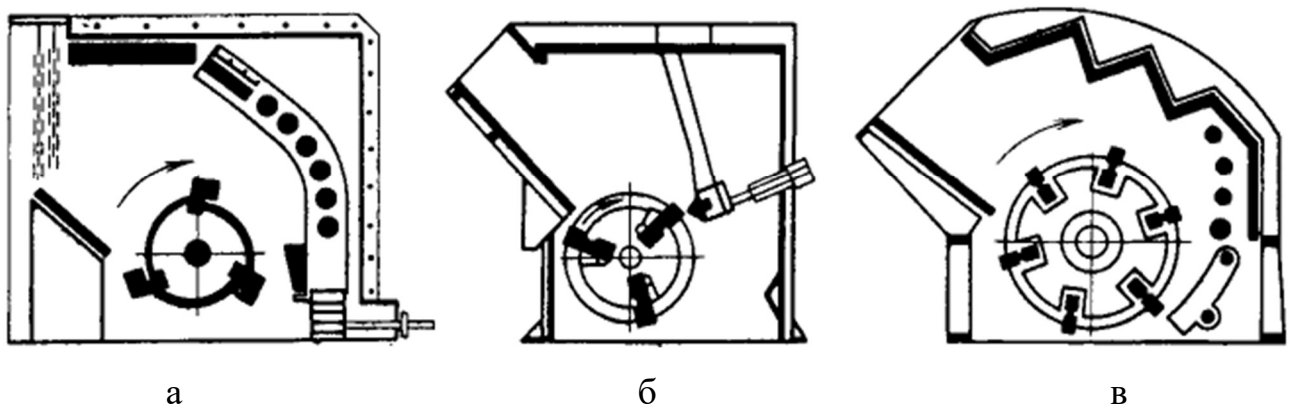
а – однокамерна неревсивна дробарка з вільною розвантаженням і жорсткою підвіскою відбивних плит з зубчастої криволінійною поверхнею; б – неревсивна дробарка з розвантаженням через контрольну решітка з шарнірною підвіскою відбивних плит, поверхня яких виконана по ламаній лінії

Рисунок 1.10 – Однороторна дробарка



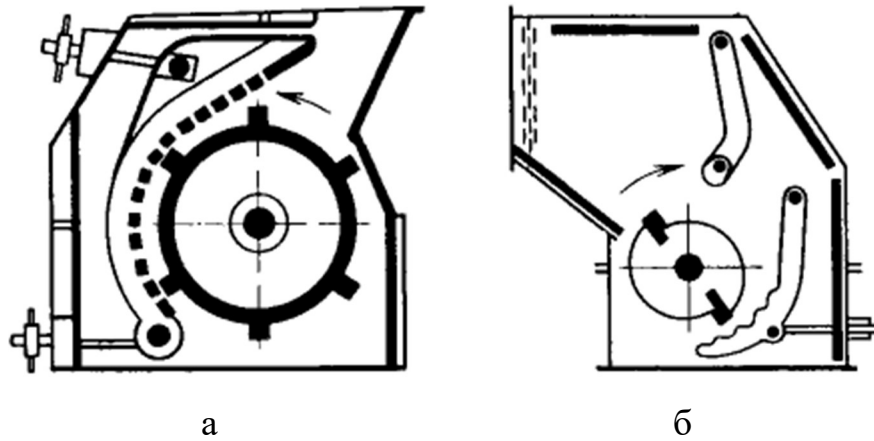
а – двокамерна, поверхня плит виконана по ламаній лінії; б – однокамерна, поверхня плит криволінійна зубчата

Рисунок 1.11 – Однороторні нереверсивні дробарки з комбінованої розвантаженням і комбінованої підвіскою відбивних плит



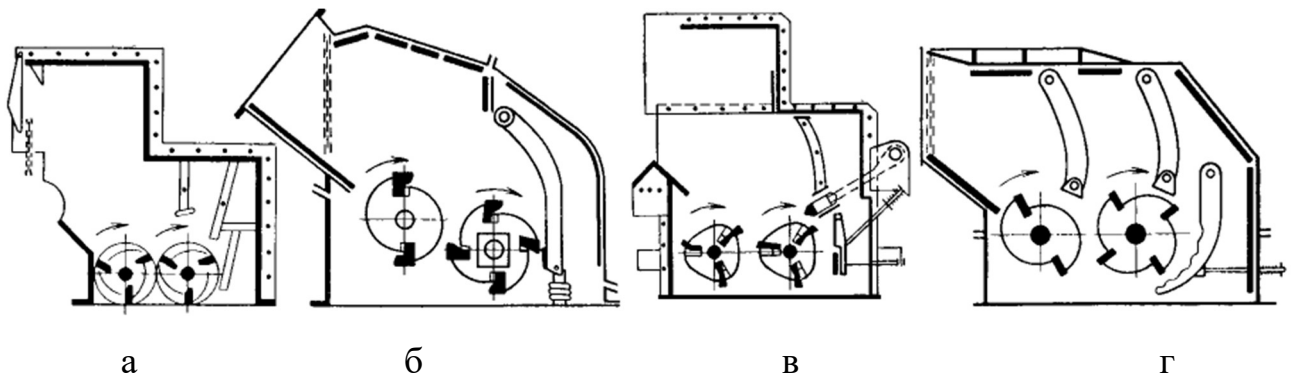
а – горизонтально, відбивні поверхні плоскі н криволінійні; б – вертикально, відбивні поверхні виконані по ламаній лінії; в – комбіновано, відбивні поверхні виконані по ламаній лінії

Рисунок 1.12 – Однороторні однокамерні нереверсивні дробарки з вільною розвантаженням, відбивними колосниковими ґратами, комбінованої підвіскою відбивних пристроїв і розташуванням колосників



а – однокамерна з шарнірною підвіскою відбивних пристроїв, горизонтальним розташуванням колосників; б – двокамерна з комбінованої підвіскою відбивних пристроїв, вертикальним розташуванням колосників

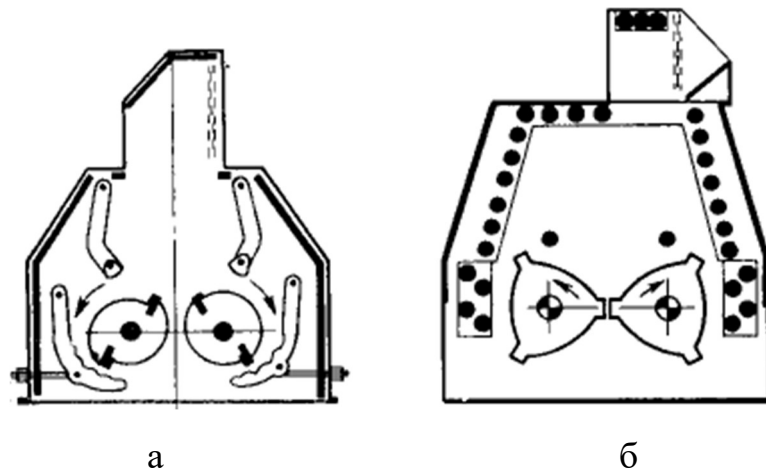
Рисунок 1.13 – Однороторні нереверсивні дробарки з комбінованої розвантаженням, відбивними колосниковими ґратами, з плоскими і криволінійними відбивними поверхнями



а – двокамерна з об'єднаними камерами дроблення і плоскими відбивними поверхнями; б – однокамерна з об'єднаними камерами дроблення і з криволінійними відбивними поверхнями; в – двокамерна з об'єднаними камерами дроблення і криволінійними відбивними поверхнями; г – двухкамерная з роздільними камерами дроблення, плоскою і криволінійної відбивними поверхнями

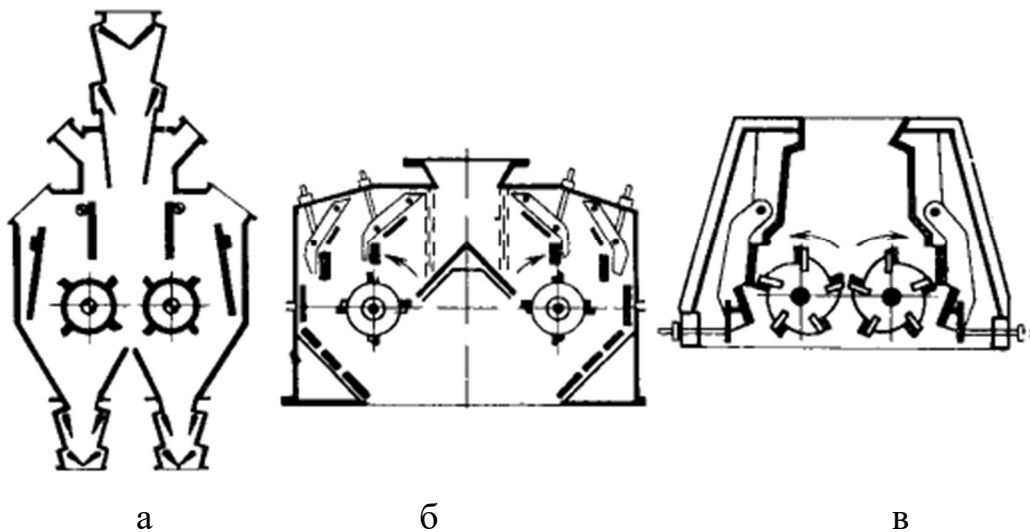
Рисунок 1.14 – Двохроторні дробарки двоступеневого подрібнення з вільною розвантаженням, відбивної ґратами, комбінованої підвіскою відбивних пристроїв, вертикальним розташуванням колосників





а – з криволінійними відбивними поверхнями, комбінованої підвіскою колосникових решіток н вертикальним розташуванням колосників; б – з плоскими відбивними поверхнями, жорсткою підвіскою колосникових решіток і горизонтальним розташуванням колосників

Рисунок 1.15 – Двохроторні двокамерні дробарки одноступінчастого дроблення з вільною розвантаженням, об'єднаними камерами дроблення, відбивної ґратами



а – з шарнірною підвіскою, об'єднаними камерами дроблення, плоскими відбивними поверхнями; б – з шарнірною підвіскою, роздільними камерами дроблення, відбивними поверхнями, виконаними по ламаній лінії; в – з комбінованою

Рисунок 1.16 – Двохроторні двокамерні дробарки одноступінчастого дроблення з вільною розвантаженням і відбивними плитами підвіскою, об'єднаними камерами дроблення і відбивними поверхнями, виконаними по ламаній лінії

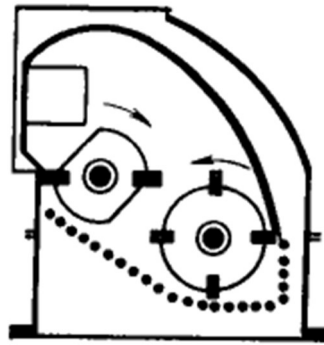


Рисунок 1.17 – Двохроторна дробарка двоступеневого подрібнення з контрольною колосникових грат, з жорстко закріпленими відбивними плитами, однокамерна з об'єднаними камерами дроблення і криволінійними

Дробарки з колосниковими гратами по розташуванню колосників розрізняють: з вертикальними (Рисунки 1.12,а,в, 1.13,а, 1.15,б) і горизонтальними колосниками (Рисунки 1.12,а,в, 1.13,а, 1.15,б).

Основні вузли роторних дробарок: ротор, відбивні органи, корпус, зворотно-буферні пристрої відбивних органів мають різні конструктивні виконання.

Ротори класифікуються за такими ознаками:

- а) по умовному числа бив: двох-, трьох- і т. д. До дванадцяти-бильних. Відомі й однобильні ротори. Найбільш споживані двох-, трьох-, чотирьох- і шестибильні;
- б) по числу бив по довжині ротора: з одним і двома билами, рідше з трьома і більше;
- в) конструкції корпусу ротора: монолітні, пустотілі та у вигляді окремих дисків, посаджених на вал;
- г) зовнішньої поверхні ротора: описані по колу, по спіралі, у вигляді багатогранника, овальні і комбіновані (описані, наприклад, по колу з виступами під опори бил);
- д) за наявністю торцевих дисків: з торцевими дисками і звичайні – без торцевих дисків;

- е) за способом захисту зовнішньої поверхні від зносу: відкриті – не захищені, з зносостійкого наплавленням і зі змінною футеровкою;
- ж) за способом виготовлення: суцільнолиті, зварені з листового прокату, зварні з литих елементів і комбіновані з прокату і литих елементів.

За конструкцією бил і способам їх кріплення існує велика кількість виконань, які потребують самостійної класифікації:

- а) по кількості робочих поверхонь: била з однією, двома і чотирма робочими поверхнями, використовуваними по черзі.
- б) за наявності знімного билотримача: з билотримачем і без нього;
- в) била, що закріплюються безпосередньо на корпусі ротора;
- г) за способом кріплення: з болтовим кріпленням, з клиновими кріпленнями різних видів, з використанням відцентрових сил, комбіновані;
- д) у напрямку руху била при його монтажі: вставляються в радіальному напрямку, в осьовому напрямку і монтовані в будь-якому напрямку.

Корпуси роторних дробарок можна класифікувати за такими основними ознаками:

- а) за характером поділу на вузли:
  - 1) на два вузла – нижню частину, яка називається станиною і служить опорою підшипників, і верхню;
  - 2) на три вузла – станину, верхню передню частину, яка несе приймальний лоток, і задню, що служить для кріплення відбивних органів;
  - 3) на три вузла – станину, верхню передню, яка несе разом з прийомним лотком і перший відбивний орган, і верхню задню частину, яка несе інші відбивні органи;
  - 4) на станину і верхню частину, що складається з окремих елементів: приймального лотка, передній, задній і верхній стінок, які стягуються разом між бічними стінками стяжками або болтами;

- 5) на станину і дві бічні стінки верхньої частини корпусу, що перекриваються окремими брусами, що грають роль футерування відбивної поверхні верхньої і задньої стінок;
- б) на станину, функціонально розділену з іншою частиною корпусу і охоплює останню у вигляді металоконструкції, і власне корпус, який також поділяється на кілька вузлів;
- б) по доступу до робочих органів: з люками на стінках корпусу, з відкидними шарнірно або знімними верхніми стінками, з шарнірно, що відкидається, верхній задньою частиною корпусу, з відкочуємими на роликах верхньої задньою частиною корпусу і з комбінованими способами забезпечення доступу до робочих органів;
- в) по розташуванню площини приймального отвору: з горизонтальним, вертикальним і похилим розташуванням;
- г) за способом виготовлення: зварні (з листового і сортового прокату), збірні з литих деталей і комбіновані збірно-зварні (лиття та прокат).

За способом підтримання сталості ширини вихідної щілини розрізняють такі конструкції відбивних органів: з шарнірною підвіскою, з противагою, з поворотною пружиною і з запобіжним пристроєм, що включає руйнується змінне деталь.

Відбивні плити з шарнірною підвіскою виготовляються суцільнозварними, звареними із захисною футеровкою робочої поверхні, суцільнолитими з зносостійкого сталі і комбіновані.

Відбивні колосникові решітки виконуються суцільнолитими, складальними з литих колосників, які стягуються стяжками, складальними з колосників, виконаних з прокату і вставлених в спеціальну раму.

## 1.5 Поняття та характер процесу зносу

На знос робочих органів в дробарках різних типів доводиться іноді до 30% витрат на дроблення, і тому він має дуже важливе значення при виборі типу дробарки. У роторних ж дробарках знос в деяких випадках є вирішальним чинником і тому заслуговує всебічного вивчення. [1]

Знос вимірюють в лінійних одиницях у вигляді абсолютної зміни розмірів деталей або в одиницях маси. В останньому випадку розрізняють абсолютний знос, вимірюваний втраченою масою деталі, і питомий знос, що представляє собою абсолютну втрату маси деталі, віднесену до маси передробленого матеріалу. Питомий знос деталі нетто  $u_n$  вимірюється питомою втратою маси деталі, знос бруто  $u_b$  – масою всієї незношеної деталі в г, віднесеної до маси всього передробленого матеріалу в тонах за повний термін служби. Ставлення питомих зносів нетто і бруто називається коефіцієнтом використання матеріалу деталі.

Мірою абразивності дробимого матеріалу або показником абразивності є питомий знос нетто еталонної деталі, яка зношуються в строго регламентованих умовах.

Зносостійкість матеріалу деталі вимірюється масою передробленого матеріалу з певної абразивністю, прийнятої за еталон, віднесеної до втраченої масі металу зразка деталі, знос якого отримано в умовах, аналогічних для визначення абразивності. Так як умови зношування деталей дуже різні, то не може бути і єдиних критеріїв абразивності і зносостійкості, незалежних від умов, для яких вони визначаються. Отже, характеризуючи абразивність або зносостійкість деяким кількісним критерієм, необхідно домовитися про те, для яких умов зношування вони придатні.

Термін служби деталей, схильних до зношування, визначається за часом роботи  $t$  або за кількістю передробленого матеріалу  $G$ . Остання оцінка надійніша.

Для прийнятих величин існують залежності

$$G = \frac{g}{u_{\sigma}}, \quad (1.7)$$

$$K_{zm} = \frac{u_n}{u_{\sigma}}, \quad (1.8)$$

$$G = \frac{g \cdot K_{zm}}{u_n}, \quad (1.9)$$

$$t = \frac{g \cdot K_{zm}}{u_n \cdot Q}. \quad (1.10)$$

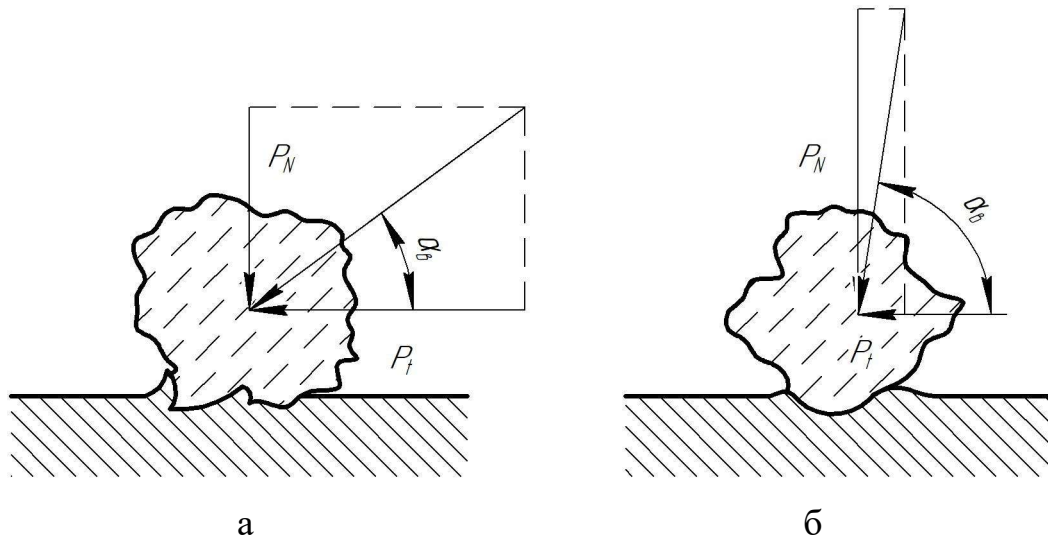
де  $g$  - маса незношених деталей, г;

$K_{zm}$  - коефіцієнт використання металу;

$Q$  - продуктивність дробарки в т/год.

Як впливає з аналізу формул (1.9) і (1.10), термін служби деталей залежить від їх маси, коефіцієнта використання металу і питомої зносу нетто. Останній залежить від умов впливу дробленого матеріалу на деталь, абразивності подрібнюваного матеріалу і зносостійкості матеріалу деталі, що відповідають даним умовам зношування.

Так нехай будуть розглянуті умови роботи деталей дробарки. Поверхні деталей, звернені всередину камер дроблення роторних дробарок, стикаються з подрібнюваним матеріалом, мікротвердість якого нерідко перевищує твердість металу дробарок. Вплив подрібнюваністю породи на поверхні цих деталей носить ударний характер, внаслідок чого на поверхнях контакту виникають значні напруження зминання і зсуву, часто перевищують межі міцності металу. Схеми переважаючих видів зношування поверхонь деталей дробарки показані на (Рисунок 1.18,а,б).



а – абразивний знос; б - стомлююче вищерблення

Рисунок 1.18 – Механізм зносу

Якщо кут зустрічає частки подрібнюваністю породи з поверхнею малий (Рисунок 1.18,а), то окремі зерна породи, мікротвердість яких вище мікротвердості деталі, впроваджуються в метал під дією нормальної складової ударної сили  $P_N$ , а тангенціальна складова  $P_t$ , зрушуючи зерно, знімає стружку подібно різцю. Цей вид зношування називається абразивним.

У разі великих кутів зустрічі сила  $P_t$  виявляється недостатній для зсуву частки, і остання лише впроваджується в метал, викликаючи в поверхневому шарі залишкові деформації (Рисунок 1.18,б). Такі деформації створюють не тільки наклеп і зміцнення, а й при повторному впливі викликають втомні руйнування й викришування частинок металу. Цей вид зношування називається втомним.

## 1.6 Огляд оригінальних конструкцій і елементів молоткових дробарок

Основним істотним недоліком роторних дробарок є підвищений знос дроблячих елементів. Практика рішень з модернізації роторної дробарки направлена в основному на підвищення надійності дроблячих елементів.

**Патент №1755916 Роторна дробарка [15]** (Рисунок Б.1.19). Винахід відноситься до пристроїв для подрібнення матеріалів і може бути використане в будівельній, гірничорудної та інших галузях промисловості.

Метою винаходу є зниження енерговитрат на процес дроблення. Поставлена мета досягається тим, що є роторна дробарка, що містить корпус, ротор з билами, відбивні плити з прямолінійними ріжучими крайками, завантажувальний і розвантажувальний пристосування, біла встановлені під гострим кутом до котра утворює ротора, при цьому гострий кут дорівнює  $2 - 5^{\circ}$ , На фіг.1 (Додаток А) показаний вертикальний розріз дробарки; на фіг.2 (Додаток А) вид А на фіг.1 (Додаток А), в момент проходження дробленого продукту через вихідну щілину. При установці бив 3 під кутом більше 5 до котра утворює ротора матеріал відкидається ними косим ударом на відбивні плити 4, Від плити 4 матеріал внаслідок косоного удару відбивається на біла 3 також під кутом щодо її нормалі. При косому напрямку удару значно знижується його сила, яка необхідна для дроблення матеріалу, що а загалом знижує ефективність процесу дроблення.

Роторна дробарка, яка містить корпус, горизонтальний ротор з билами, відбивні плити з прямолінійними ріжучими крайками, завантажувальний і розвантажувальний пристосування, що відрізняється тим, що, з метою зниження енерговитрат на процес дроблення, біла встановлені під гострим кутом до утворюючої ротора.

**Патент №1799620 Роторна дробарка [16]** (Рисунок В.1.20). Винахід відноситься до пристроїв для подрібнення твердих кускових матеріалів і може бути використане в нафтопереробній, хімічній, будівельній та інших галузях промисловості.

Метою винаходу є підвищення продуктивності за рахунок зменшення ймовірності забивання завантажувального патрубку негабаритним шматками матеріалу.



На фіг. 1 (Додаток Б) показана описувана дробарка, вертикальний розріз; на фіг. 2 (Додаток Б) то ж саме, вид зверху. Дробарка містить корпус 1, з завантажувальним патрубком 2 і вихідним отвором 3. В корпусі 1 встановлені приводний ротор 4 з білами 5 і дроблячою плитою 6 з ребрами 7. Між ротором 4 і дроблячою плитою 6 утворена камера тиску 8. Стінкообразуючі частини патрубка 2 підтискають один до одного за допомогою пружин 9. На корпусі 1 встановлені обмежувачі 10 переміщення стінкообразуючих частин патрубка 2 і датчики 11 переміщення зазначених стінок, через які пропущені горизонтальні біла 12, 25 закріплені на порушених пневмо- або гідроциліндрів 13, забезпечених пневмо- або гідроприводами 14 з пульсаторами 15, Датчики 11 з'єднані з керуючими вентилями 16 пневмо- або гідроциліндрів 13. Обертання ротора 8 здійснюють за допомогою приводу 17.

Роторна дробарка, що містить корпус, встановлені в ньому ротор з робочими елементами і дробильну плиту, яка відрізняється тим, що, з метою підвищення продуктивності за рахунок зменшення ймовірності забивання завантажувального патрубка негабаритним шматками матеріалу, вона забезпечена пропущеними через щонайменше дві стінкообразуючі частини патрубка, горизонтальними білами з приводом в вигляді пневмо- чи гідроциліндрів, причому зазначені стінкообразуючі частини встановлені з можливістю горизонтального переміщення і подпружинення, а пневмо- чи гідроциліндрів виконана з датчиками переміщення зазначених стінкообразуючих частин і пульсаторами.

**Патент РФ 2091164 Роторна дробарка [17] (Рисунок Г.1.21).**

Пропоноване технічне рішення характеризується наступною сукупністю існуючих ознак; роторна дробарка, що містить корпус із завантажувальним і вивантажувальним патрубками, камеру дроблення, в якій розташований ротор з робочими елементами і привід, забезпечена додатковими завантажувальними і розвантажувальними патрубками і роторами, паралельно встановленими основному, з можливістю обертання понад 40 м/с, причому камера дроблення має по чотири ротора і по парі завантажувальних і розвантажувальних патрубків; робочі елементи ротора дробарки виконані у вигляді зубів, розташованих по гвинтовій лінії під кутом 30-90° до площини торцевого перетину ротора; дробарка забезпечена трьома додатковими камерами дроблення.

На фіг. 1 (Додаток В) показана роторна дробарка; на фіг. 2 (Додаток В) розріз А-А на фіг. 1 (Додаток В). Роторна дробарка містить чотири блоки по чотири зубчастих ротора 1, жорстко закріплених на валах 2, встановлених в підшипникових блоках 3, з'єднаних з верхньої 4 і нижньої 5 пластинами. Середня 6 пластина містить блоки 7 ущільнювачів 8 валів.

При обертанні приводу зуби роторів 1 переміщують вихідний матеріал в кожному блоці двома зустрічними потоками зі швидкостями більше 40 м/с в дробильну камеру "abcd" і в результаті зіткнень відбувається дроблення. Зміною частоти обертання приводу регулюють тонкість дроблення.

Для збільшення продуктивності слід збільшувати діаметри роторів і частоту обертання.

Пропонована дробарка забезпечує збільшення терміну служби при незначному зносі зубів роторів, збільшення продуктивності, а також варіювання ступеня дроблення матеріалу і зниження витрат енергії при дробленні.

**Патент РФ 2205694 Роторна дробарка [18]** (Рисунок К.1.22). Винахід відноситься до пристроїв для подрібнення нафтового коксу і може бути використано в нафтопереробній та інших галузях промисловості.

Завдання винаходу полягає в регулюванні фракційного складу і енергоємності процесу руйнування дробленого матеріалу.

Це досягається тим, що в роторній дробарці, що містить корпус з вмонтованими в нього приводним ротором з білами і колосникових ґратами, закріпленої на прокладці, встановленої з можливістю переміщення щодо заснування, верхня частина колосників закріплена на поворотних шарнірах, а нижня – з можливістю поперечного переміщення щодо бил, при цьому привід ротора виконаний з регульованим числом обертів, а прокладка є просіюваною поверхню, наприклад перфорований лист, встановлену на ступінчастих пружних опорах з зазором до основи. Крім того, колосники мають форму усічених конусів з увігнутими верхніми підставами.

Пропоноване конструктивне оформлення роторної дробарки, забезпечуючи руйнування великих шматків на колосниках, виконаних з можливістю сходження – розбіжності нижніх кінців в зоні дії бил, дозволяє регулювати гран-склад дробленого матеріалу і енергоємність процесу дроблення. А своєчасне видалення дрібних фракцій через вібруючу, в процесі дроблення, прокладку і увігнуті верхні підстави колосником, що мають форму усічених конусів, дозволяє зменшити переподрібнення дробленого матеріалу і скоротити енерговитрати на дроблення.

**Патент РФ 2223147 Роторна дробарка [19]** (Рисунок Ж.1.23). Завданнями винаходу є зменшення зносу футеровочного матеріалу, зниження його вартості і зменшення трудомісткості робіт при заміні футеровки.

Поставлені завдання вирішуються за рахунок того, що в роторній дробарці, що включає корпус, камеру дроблення, ротор з білами, знімну футеровку корпусу, знімна футерування корпусу виконана у вигляді розміщених в шаховому порядку конусів, звернених вершинами всередину камери дроблення,

при цьому кут при вершинах конусів прийнятий менше подвійного кута тертя в футеруванні – подрібнюваністю породи. Кожен конус в своїй основі може бути забезпечений хвостовиком циліндричної форми з гвинтовою нарізкою на кінці, орієнтованим по осі конуса і з можливістю розміщення хвостовика в отворі корпусу дробарки і фіксації на ньому за допомогою гайки.

Роторна дробарка представлена на фіг.1 (Додаток Д) – вид збоку, на фіг.2 (Додаток Д) – вузол кріплення конуса до корпусу дробарки.

Технічне рішення забезпечує роботу роторної дробарки практично при футеровці яка не руйнується за рахунок її постійної регенерації, взаємодії з футеровкою породою.

Відмінні ознаки винаходу дозволяють зменшити знос футерованого матеріалу, знизити його вартість і зменшити трудомісткість робіт при заміні футеровки.

**Патент RU 2252075 Роторна дробарка [20]** (Рисунок К.1.24). Винахід відноситься до дробильним машинам, а саме до роторних дробарок.

Недоліком відомих дробарок є неможливість регулювання крупності дробленого продукту.

Завданнями винаходу є підвищення надійності роботи дробарки за рахунок виключення забивання колосників, зменшення навантажень на ротор при попаданні в дробарку неподрібнених предметів і зниження трудомісткості робіт по заміні колосників.

Поставлені завдання вирішуються за рахунок того, що в роторній дробарці, що містить корпус, камеру дроблення, ротор з билами, колосникові ґрати, встановлену на корпусі за допомогою горизонтального шарнірного вузла та підпружинену до корпусу, відповідно до винаходу колосники решітки викладені у вигляді двоплечих важелів і встановлені незалежно один від одного, а кожен з них підпружинен самостійними плоскими ресорами S-образного профілю, при цьому один кінець ресори закріплений на вільному кінці колосника, а другий вільний кінець розміщений з можливістю взаємодії при повороті колосника з

горизонтальною полицею знімного кронштейна, закріпленого на корпусі дробарки, шарнірний вузол виконаний у вигляді закріпленої на корпусі дробарки нерухомої осі, а колосники забезпечені спрофільоване по дузі кола вирізами з можливістю їх взаємодії з віссю і спирання на неї зверху, плече важеля з боку ресори виконано прямокутного поперечного перерізу і встановлено з можливістю взаємодії з нижньою крайкою колосника в його робочому положенні з упором полки, а на іншій ділянці – трапецеїдального, між колосниками і з можливістю взаємодії з ними на осі розміщені змінні фіксатори, ширина яких прийнята рівною заданій величині щільного зазору між колосниками, при цьому параметри колосникових ґрат вибираються із співвідношення.

Відмінні ознаки винаходу дозволяють підвищити надійність роботи дробарки за рахунок виключення забивання колосників завдяки можливості їх незалежного повороту щодо осі, трапецеїдальної форми і різної жорсткості ресор суміжних колосників, за рахунок зниження навантажень на ротор з білами завдяки можливості перепустки неподібнюваних предметів при повороті окремих колосників, що володіють відносно невеликим, порівняно з усіма ґратами, моментом інерції, за рахунок зменшення трудомісткості і скорочення на заміну зношених колосників шляхом відносно не складних операцій з виведення колосників через отвір в корпусі дробарки.

**Патент RU 2229339 Роторна дробарка [21]** (Рисунок М.1.25). Відмінні ознаки винаходу дозволяють підвищити надійність роботи дробарки за рахунок виключення забивання колосників завдяки можливості їх незалежного повороту щодо осі, трапецеїдальної форми і різної жорсткості ресор суміжних колосників, за рахунок зниження навантажень на ротор з білами завдяки можливості пропуску недробимих предметів при повороті окремих колосників, що володіють щодо невеликим (в порівнянні з усіх колосникових ґрат) моментом інерції, за рахунок зменшення трудомісткості і скорочення часу на заміну

зношених колосників шляхом відносно нескладних операцій з виведення колосників через отвір в корпусі дробарки.

Формула винаходу:

- 1) Роторна дробарка, яка містить корпус, камеру дроблення, ротор з билами, колосникові ґрати, встановлену на корпусі за допомогою горизонтального шарнірного вузла та підпружинену до корпусу, що відрізняється тим, що колосники решітки виконані у вигляді двоплечих важелів і встановлені незалежно один від одного, а кожен з них підпружинен самостійними плоскими ресорами S-образного профілю, при цьому один кінець ресори закріплений на вільному кінці колосника, а другий вільний кінець розміщений з можливістю взаємодії при повороті до осі з горизонтальною полицею і корпусом дробарки, шарнірний вузол виконаний у вигляді закріпленої на корпусі дробарки нерухомої осі, а колосники забезпечені спрофільованими по дузі кола вирізами з можливістю їх взаємодії з віссю і спірання на неї зверху, плече важеля з боку ресори виконано прямокутного поперечного перерізу, а на іншому ділянці – трапецеїдального, між колосниками і з можливістю взаємодії з ними на осі розміщені змінні фіксатори, ширина яких прийнята рівною заданій величині щілинного зазору між колосниками, при цьому параметри колосникових ґрат вибираються з наступного співвідношення:

$$B = pb + (n-1) a,$$

де  $B$  - ширина камери дроблення;

$p$  - число колосників;

$b$  - ширина колосника;

$a$  - величина щілинного зазору між суміжними колосниками.

- 2) Дробарка по п.1, що відрізняється тим, що змінні фіксатори виконані у вигляді вигнутих по радіусу осі смуг з утворенням відкритої петлі в їх верхній частині з огибанием осі на кут не більше  $180^\circ$ .

- 3) Дробарка по п.1, що відрізняється тим, що кожен колосник з неробочої сторони забезпечений петлею з можливістю захоплення за неї вантажозахватним пристосуванням.
- 4) Дробарка по п.1, що відрізняється тим, що кожен фіксатор у верхній своїй частині забезпечений екранує стінкою, висота якої прийнята рівною висоті колосника над віссю.

**Патент RU 2396121 Роторна дробарка [22]** (Рисунок Н.1.26). Дробарка роторна призначена для дроблення матеріалів і може бути використана в гірській промисловості для дроблення руди та інших областях, зокрема будівельної.

Технічною задачею запропонованого винаходу є створення конструкції дробарки з додатковою зоною дроблення.

Технічний результат полягає в підвищенні ступеня дроблення і рівномірності крупності дробленого матеріалу, крім того, забезпечується більш тривале використання бив, підвищення продуктивності.

Для вирішення поставленого завдання певною роторної дробарці, що містить корпус із завантажувальним і розвантажувальним вікнами, горизонтально розташований ротор з пластинами і закріпленими на ньому білами, відбивні плити, відповідно до винаходу, друга відбивна плита виконана, щонайменше, у вигляді двох ступенів, при цьому кут між робочими поверхнями обох ступенів становить  $30 \pm 5^\circ$ .

Запропонована дробарка дає можливість забезпечити трьохстадійне дроблення, що значно підвищує якість дроблення робочого матеріалу.

Така можливість не могла бути передбачена на основі аналізу пристроїв, відомих з рівня техніки.

Таким чином, досягається пропонованим винаходом технічний результат не визначається відомим впливом характерних ознак і його не можна передбачити на основі відомостей, що містяться в рівні техніки.

Била розташовані попарно радіально навпроти один одного.

Била виконані з можливістю повороту на  $180^\circ$ .

Ротор виконаний з дисків, з'єднаних пластинами.

Робоча поверхня була паралельна площині, що проходить через вісь обертання ротора, і зміщена в напрямку його обертання.

Виконання відбивної плити, щонайменше, у вигляді двох ступенів дозволяє створити додаткову зону дроблення.

Вибір кута між робочими поверхнями обох ступенів  $30 \pm 5^\circ$  забезпечує зіткнення шматків робочого матеріалу по ним під кутом  $90 \pm 5^\circ$ , що значно підвищує ефективність дроблення.

Розташування бил радіально навпроти один одного забезпечує більш легку можливість балансування ротора при виготовленні.

Виконання бил з можливістю повороту на  $180^\circ$  дозволяє в процесі зносу однієї кромки робочої поверхні була використовувати діагонально протилежну крайку, що забезпечує процес стабілізації дроблення робочого матеріалу за більш тривалий період часу.

## 1.7 Висновки по розділу

Дроблення крихкого матеріалу в роторних дробарках здійснюється за рахунок виникнення ударних сил.

Дробильне обладнання – роторні дробарки, які реалізують принцип ударного руйнування, даючи більш високі продуктивність і ступінь дроблення при покращеній якості продукту, меншою металоємності, питому витрату енергії і інших позитивних показниках дозволяють більш ефективно вирішити поставлені завдання в області дробильно-збагачувальної техніки. Тому необхідно різко підвищити ефективність роторних дробарок.

У джерелах літератури описується спосіб дроблення крихких матеріалів в роторних дробарках, приводяться актуальні данні що до впливу характеристик



матеріалу та конструктивних (технологічних) показників на ефективність цього обладнання.

А саме що до матеріалу:

- а) міцність;
- б) крихкість;
- в) абразивність;
- г) крупність шматків;
- д) зерновий склад продукту дроблення;
- е) крупність вихідної маси.

Стосовно конструктивних та технологічних особистостей роторних дробарок які впливають на продуктивність:

- а) вплив ширини вихідної щілини;
- б) кута встановлення першої відбивної плити;
- в) першої відбивної плити
- г) продуктивності задавання матеріалу до дробарки;
- д) виду матеріалу що дробиться.

Проведені результати аналізу роботи дробарки і знос її робочих органів показав, що найбільш слабкою ланкою в дробарці є біла.

## 2 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ В РОТОРНИХ ДРОБАРКАХ

### 2.1 Моделювання роторної дробарки

Накопичено великий матеріал по впливу різних параметрів на показники роторних дробарок і встановлені основні розрахункові залежності. Однак поширення досвідчених даних і розроблених залежностей на інші типорозміри машин можливо тільки з урахуванням законів подоби.

При моделюванні роторних дробарок необхідно дотримуватися не тільки геометричних, а й фізичних подібностей моделі і натури. Л.С. Ейгенсон вважав подібними такі фізичні явища, якщо вони протікають в геометрично подібних системах і при цьому поля всіх однойменних фізичних змінних беруть участь в явищі, відповідно подібні [3]. Отже, в подібні моменти часу в кожній парі подібних точок відношення однойменних фізичних величин має одне й те саме постійне значення, тобто

$$\left. \begin{aligned} \frac{v'_n}{v'_m} = \frac{v''_n}{v''_m} = \dots = \frac{v^n_n}{v^n_m} = C_v, \\ \frac{\rho'_n}{\rho'_m} = \frac{\rho''_n}{\rho''_m} = \dots = \frac{\rho^n_n}{\rho^n_m} = C_\rho. \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де  $v'_n, \dots, v^n_n; v'_m, \dots, v^n_m; \rho'_n, \dots, \rho^n_n; \rho'_m, \dots, \rho^n_m$  - відповідно швидкість і щільність для процесів натури і моделі;

$C_v, C_\rho$  - масштабні коефіцієнти.

Масштабні коефіцієнти визначаються в результаті аналізу критеріїв подібності (безрозмірних комплексів, що мають один і той же числове значення

для подібних явищ). У загальному випадку масштабні коефіцієнти не рівні між собою, тобто

$$C_v \neq C_\rho. \quad (2.2)$$

Для встановлення критеріїв подібності, що характеризують процес дроблення, скористаємося наступними рівняннями.

Диференціальне рівняння руху частинки в повітрі

$$m \cdot \frac{dv_k}{dt} = m \cdot g + \psi \cdot D^2 \cdot \rho_1 \cdot v_k^2. \quad (2.2)$$

Рівняння швидкості руху частинки після удару билем ротора

$$v_k = (k+1) \cdot v_p, \quad (2.3)$$

де  $k$  - коефіцієнт відновлення.

Рівняння енергії, переданої матеріалу при центральному ударі

$$E = \frac{m \cdot v_p^2}{2} \cdot (1+k)^2, \quad (2.4)$$

Рівняння питомої енергії, що витрачається на руйнування матеріалу для ступеня дроблення  $i$

$$E = \frac{N}{Q} = \frac{\omega_{op} \cdot (i-1)}{D}, \quad (2.5)$$

де  $\omega_{op}$  - енергетичний показник дроблення.

Рівняння зусилля, необхідного для руйнування каменю розміром  $D$  і межею міцності при розтягуванні  $\sigma_p$

$$P = \sigma_p \cdot D^2. \quad (2.6)$$

Рівняння ударного імпульсу

$$Pt = m \cdot v_p. \quad (2.7)$$

Наведені рівняння дійсні, коли початкова швидкість матеріалу  $v_k$  в напрямку удару билем дорівнює нулю, маса ротора набагато більша за масу матеріалу, руйнування матеріалу походить від зусиль розтягування при перевищенні ними меж міцності  $v_p$ . Приведення рівнянь до критеріального виду можна виконати за однією з рекомендованих методик [4]. В процесі математичних перетворень виключимо величини, що характеризують проміжні стадії процесу дроблення (енергію, зусилля удару, швидкість матеріалу, час), а масу і щільність висловимо через величини, більш зручні в практичному обігу, тобто через прискорення вільного падіння  $g$ , розмір каменю  $D$  і об'ємна вага  $\gamma_0$ .

В результаті перетворень отримаємо критеріальне рівняння

$$i = f \left( \frac{v_p^2}{l \cdot g}, \frac{\gamma_{01}}{\gamma_0}, \frac{\omega_{op}}{\gamma_0 \cdot l^2}, \frac{\sigma_p}{\gamma_0 \cdot l}, k, \psi \right), \quad (2.8)$$

де  $i$  - ступінь дроблення;

$v_p$  - окружна швидкість бил ротора, м/с;

$l$  - лінійний розмір, м;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\gamma_{01}$  і  $\gamma_0$  - об'ємна вага відповідно повітря і частинок матеріалу для подрібнення в кгс/м<sup>3</sup>;

$\omega_{op}$  - енергетичний показник, кгс/м;

$\sigma_p$  - межа міцності при розтягуванні, кгс/м<sup>2</sup>;

$\psi$  - коефіцієнт опору руху частки в повітрі.

У рівняння (2.8) навмисно введені два критерії, які характеризують опір матеріалів руйнуванню ( $\omega_{op}/\gamma_0 \cdot l^2$  й  $\sigma_p/\gamma_0 \cdot l$ ), так як ще остаточно не встановлено, який з них дає більш тісний кореляційний зв'язок з результатами процесу дроблення.

Для перевірки правильності виконаних перетворень використовуємо теорему. Будь-яке рівняння, що зв'язує між собою  $N$  фізичних величин, серед яких  $K$  величин мають незалежними розмірностями, може бути перетворено в рівняння, що зв'язує  $(N-K)$  безрозмірних комплексів і симплексів, складених з цих величин [5]. Симплексом називається відношення двох однойменних величин, тобто мають однакову розмірність.

Число критеріїв-симплексів, утворене з фізичних величин досліджуваного процесу, й не повинно перевищувати

$$t_s = N - n, \quad (2.9)$$

де  $n$  - число величин, що мають неоднакову розмірність.

Найменше число критеріїв-комплексів

$$t_\pi = n - K. \quad (2.10)$$

Загальна кількість всіх критеріїв

$$t = t_s + t_\pi = N - K. \quad (2.11)$$

У нашому випадку рівняння (2.8) складається з десяти величин  $N=10$ , з яких три мають незалежні розмірності (м, м/с, кгс/м), тобто  $K=3$ , а число величин з неоднаковими розмірностями – одно з шести, тобто  $n=6$ .

Тоді число критеріїв-симплексів має бути

$$t_s = N - n = 10 - 6 = 4. \quad (2.12)$$

З рівняння (2.8) маємо

$$i, k, \psi, \frac{\gamma_{01}}{\gamma_0}. \quad (2.13)$$

Число критеріїв-комплексів повинно бути

$$t_\pi = n - K = 6 - 3 = 3. \quad (2.14)$$

З рівняння (2.27) маємо

$$\frac{v_p^2}{l \cdot g}, \frac{\omega_{op}}{\gamma_0 \cdot l^2}, \frac{\sigma_p}{\gamma_0 \cdot l}. \quad (2.15)$$

Дані перевірки підтверджують правильність проведених перетворень рівнянь до критеріального виду.

На підставі сказаного процеси дроблення в роторних дробарках будуть подібні при дотриманні наступних умов:

- а) геометричному подоби конструкцій дробарок моделі і природи;
- б) геометричному подоби розмірів вихідних матеріалів природи і моделі; рівність критеріальних співвідношень, а саме

$$\left(\frac{v_p^2}{l \cdot g}\right)_n = \left(\frac{v_p^2}{l \cdot g}\right)_m, \quad (2.16)$$

$$\left(\frac{\omega_{op}}{\gamma_0 \cdot l^2}\right)_n = \left(\frac{\omega_{op}}{\gamma_0 \cdot l^2}\right)_m, \quad (2.17)$$

$$\left(\frac{\sigma_p}{\gamma_0 \cdot l}\right)_n = \left(\frac{\sigma_p}{\gamma_0 \cdot l}\right)_m, \quad (2.18)$$

$$k_n = k_m, \quad (2.19)$$

$$\psi_n = \psi_m, \quad (2.20)$$

$$i_n = i_m, \quad (2.21)$$

$$\left(\frac{\gamma_{01}}{\gamma_0}\right)_n = \left(\frac{\gamma_{01}}{\gamma_0}\right)_m. \quad (2.22)$$

### 2.1.1 Вибір окружної швидкості бив ротора

Критеріально вираз (2.16) при  $g_n = g_m$  можна привести до наступного вигляду

$$\left(\frac{v_p^2}{l}\right)_n = \left(\frac{v_p^2}{l}\right)_m. \quad (2.23)$$

Зі співвідношення (Формула 2.23) визначаємо вираз, за яким повинна вибиратися окружна швидкість бив ротора моделі  $v_{p_n}$  при окружній швидкості бив ротора натури і масштабному коефіцієнті лінійних розмірів  $C_l$

$$v_{p_m} = \frac{v_{p_n}}{C_l^{0,5}}. \quad (2.24)$$

Отже, щоб забезпечити подібність швидкостей руху в моделі, однією з умов є зміна швидкості в порівнянні з натурою в  $C_l^{0.5}$  разів.

### 2.1.2 Вибір вихідного матеріалу моделі

Вибір вихідного матеріалу моделі може бути проведений по одному з співвідношень (2.17) або (2.18). Перше характеризує енергетичні умови для дроблення каменю, друге – міцність

$$\left(\frac{\omega_{dp}}{\gamma_0}\right)_m = \left(\frac{\omega_{dp}}{\gamma_0}\right)_n \cdot \frac{l}{C_l^2}, \quad (2.25)$$

$$\left(\frac{\sigma_p}{\gamma_0}\right)_m = \left(\frac{\sigma_p}{\gamma_0}\right)_n \cdot \frac{l}{C_l}, \quad (2.26)$$

При виборі вихідного матеріалу моделі за виразом (Формула 2.26) необхідно використовувати комплексний показник матеріала  $(\sigma_p/\gamma_0)$  величина якого повинна змінюватися обернено пропорційно масштабному коефіцієнту лінійних розмірів. Отже, фізико-механічні показники вихідного матеріалу моделі повинні відрізнятися від показників вихідного матеріалу природи, тобто для дотримання критерію (2.18) необхідно для моделі використовувати інший вид матеріалу або штучний матеріал. Практично для моделі з геометричними розмірами менше природи доводиться підбирати менш міцний матеріал.

Для дотримання повної подібності процесу дроблення потрібно задовольнити рівність критеріїв (2.21), (2.19) і (2.20) Для виконання умов за першою з них необхідно, щоб відношення об'ємних ваг середовища, в якій відбувається дроблення, і вихідного матеріалу залишалось незмінним. Так як для моделі використовується інший вид матеріалу, який, як правило, буде мати інше значення об'ємної ваги, то слід відповідно змінити середу в камері дроблення по об'ємній вазі. Це може бути досягнуто, наприклад, при установці моделі в



геометрично ізольованою ємності зі зниженим або підвищеним тиском повітряного середовища. Однак це ускладнює експериментальну установку і зменшує переваги методу дослідження на моделях. Тому найчастіше доводиться відмовлятися від спроб задовольнити цей критерій. Необхідність використовувати інший вид вихідного матеріалу, ніж визначається виразом (2.26), також позбавляє можливості управляти критерієм (2.19), а зміна розмірів частинок вихідного матеріалу і швидкостей їх руху, обраних по основним вимогам, не дозволяє управляти і критерієм (2.20).

Проведений аналіз критеріальних відносин показує, що забезпечити повне задоволення всім критеріям рівняння (2.8) при моделюванні процесу дроблення в роторній дробарці не представляється можливим. У практиці, коли неможливо досягти повної подібності процесів, застосовують наближене моделювання, точність якого визначається експериментом. З цією метою було проведено моделювання процесу дроблення роторних дробарок при масштабному коефіцієнті лінійних розмірів, що дорівнює 2,66. Модель і зерновий склад вихідного матеріалу були виконані геометрично подібними зразком. Окружна швидкість бил визначалася виразом (2.24), а вихідний матеріал підбирався виходячи з виразу (2.26). Досліди проводилися для швидкостей натур 16,2; 33,2 і 48,5 м/с. Основні параметри моделі і натур дано в таблиці (Таблиця 2.1). Результати дослідів показані на рисунку (Рисунок 2.1).

Для зручності порівняння кривих зернового складу масштаб розмірів сит для графіків моделі прийнятий в  $C_l = 2,66$  рази більшим, ніж для натур. Завдяки цьому отримано наочне порівняння кривих. При повному подібні зернових складів продуктів дроблення криві повинні були б накладатися одна на іншу.

З графіків видно, що похибка результатів дослідів збільшується зі зростанням ступеня дроблення. Найбільша помилка підрахунку середньозваженого розміру натур за результатами дроблення в моделі становить 27% при максимальному ступені дроблення 10. При ступенях дроблення до 6 виходить задовільний результат (помилка не перевищує 10%).

Таблиця 2.1 – Основні параметри моделі і натурі

№ експерименту	Матеріал зразка	Середньозважений розмір вихідного матеріалу, м	Діаметр ротора, м	Швидкість ротора, м/с	$\rho_p$ , кгс/см <sup>2</sup>	$\rho_0$ , кгс/см <sup>3</sup>	$\frac{\rho_p}{\rho_0} \cdot 1$
1	Вапняк (натура)	0,096	0,66	16,2	120	2,72	4600
2		0,096	0,66	33,2			
3		0,096	0,66	48,5			
4	Вугілля (модель)	0,036	0,25	10	27,5	1,5	5100
5		0,036	0,25	20			
6		0,036	0,25	30			

Таким чином, моделювання процесу дроблення в роторних дробарках за представленим вище методом забезпечує отримання задовільних результатів при ступенях дроблення не вище 10. Масштабний коефіцієнт лінійних розмірів повинен бути не більше 3.

Обмеження моделювання за масштабом диктується не тільки точністю результатів подібності, а й труднощами в підборі вихідного матеріалу для моделі, так як матеріал моделі повинен бути менш міцний і менш енергоємний, якщо модель менше зразка. У таблиці (Таблиця 2.2) наведені режими моделі з діаметром ротора 0,25 м і режими натурних зразків, на які можуть бути поширені результати досліджень на моделі. Як видно, дослідження на моделі можна переносити на великі дробарки, якщо останні призначені для роботи на міцних і високоміцних матеріалах. Для великих дробарок, що працюють на порівняно слабких матеріалах, моделювання на моделях за даною методикою важко.

Таблиця 2.2 – Параметри подібних моделей

Найменування	Модель	Натура					
		1	2	2,72	3,2	4	5
Геометричний масштаб лінійних розмірів	1	2	2,72	3,2	4	5	
Діаметр ротору, мм	250	500	630	800	1000	1250	
Масштабний коефіцієнт окружної швидкості бил ротору	1	1,41	1,65	1,79	2,0	2,24	
Окружна швидкість бил ротору, м/с	10	14,1	16,5	17,9	20,0	22,4	
	20	28,2	33,0	35,8	40,0	44,8	
	30	42,3	49,5	53,7	60,0	67,2	
	40	56,4	66,0	71,6	80,0	89,6	
Розрахункові фізико-механічні показники вихідного матеріалу:							
	$\sigma_p/\gamma_0$	16,7	33,4	45,5	63,5	66,8	83,5
	$\sigma_p$ , кгс/см <sup>2</sup>	25,0	60,0	95,5	128,0	180,0	250,0
$\gamma_0$ , кгс/см <sup>3</sup>	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	
Вид дробимого матеріалу	Вугілля	Вапняк	Вапняк	Вапняк, граніт	Граніт	Граніт	

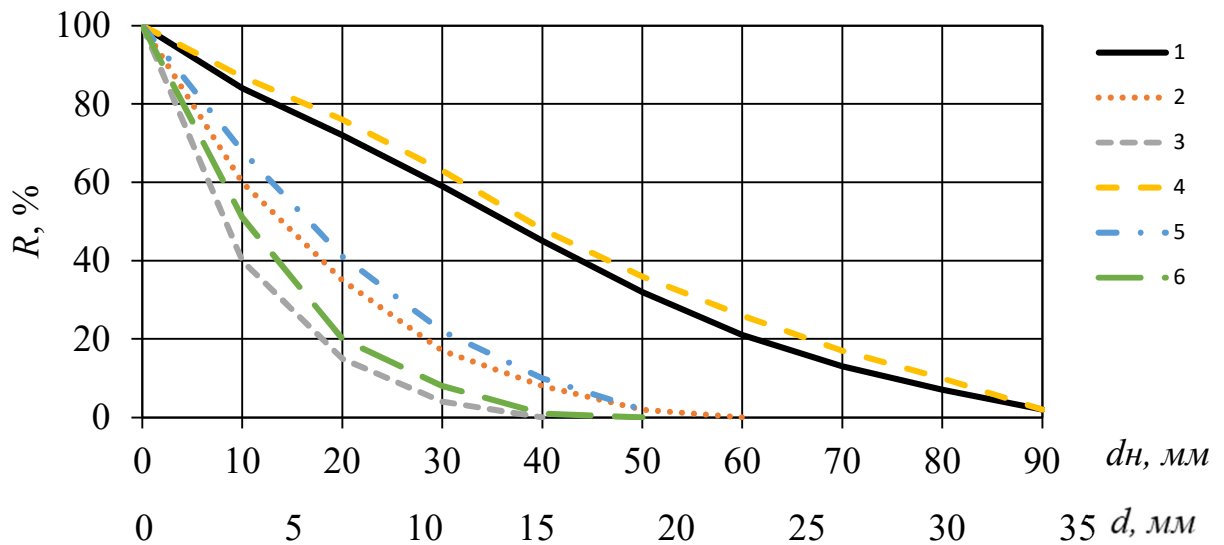


Рисунок 2.1 – Криві зернового складу продукту дроблення природи і моделі

## 2.2 Продуктивність

Нижче наводиться методика визначення максимальної продуктивності  $Q_m$  для обраних конструктивних і технологічних параметрів, коли такі відомі, а також статистичні дані для розрахунку середньої статистичної продуктивності, коли відомі тільки головні параметри дробарки – розміри ротора.

### 2.2.1 Розрахунок максимальної продуктивності однороторної дробарки з вільним розвантаженням

Потрібно визначити максимальну продуктивність однороторної дробарки з відбивними плитами типу, аналогічного дробарці СМД-86 (Рисунок 2.2).

Вихідні дані для розрахунку:  $D_p = 1,6$  м;  $L_p = 1,25$  м,  $z = 4$ ;  $v_p = 35$  м/с;  $\beta_1 = 20^\circ$ ;  $D_m = 0,8$  м;  $s_1 = 0,16$  м; радіус заокруглення передньої кромки біла  $r = 0,03$  м; межа міцності дробленого матеріалу при розтягуванні по приладу  $\sigma_p = 100$  кгс/см<sup>2</sup>;  $\gamma_0 = 2,5$  г/см<sup>3</sup>;  $b = 0,06$  м.

Для визначення продуктивності з урахуванням всіх основних чинників використовуємо формулу (2.27), для якої знайдемо значення входять до неї величин

$$Q_m = Q_0 \cdot \frac{L_p \cdot D_p^x}{v_p^m \cdot z^q} \cdot K_\beta \cdot K_D \cdot K_s \cdot K_r \cdot K_\sigma \cdot K_b, \quad (2.27)$$

де  $Q_0$  - продуктивність дробарки при  $D_p = L_p = v_p = z = 1$ ;  $\beta = 0$ ;  $D = 0$ ;  $s = 0$ ;

$r = 0$   $\sigma_p = 0$ ;  $b = 0$ . Величини  $D_p, L_p, v_p$  виражені в безрозмірних

відносних одиницях, для вимірювання яких за одиниці прийняті  $D_p = 1$  м,  $L_p = 1$  м і  $v_p = 1$  м/с, при цьому вони чисельно рівні  $D_p$  і  $L_p$ , вираженим в м і в м/с.

Коефіцієнт  $K_\beta$  визначається формулою (2.28) для  $0 < \beta < 90^\circ$

$$K_\beta = 1 + \frac{C_9}{C_{10}} \cdot \sin \beta + \frac{C_8}{2 \cdot C_{10}} \cdot \sin^2 \beta, \quad (2.28)$$

де  $C_8$  й  $C_9$  - постійні які залежать від  $D_p$ ,  $v_p$ ,  $z$ ;

$C_8$  й  $C_{10}$  - представляють собою продуктивність при  $\beta = 0$ .

Коефіцієнт  $K_D$  знаходиться за формулою (2.29) для  $\delta < D/D_p < 0,2$ . При  $\delta \geq 0,2$  величина  $K_D = 0,3$

$$K_D = 1 - 3,4 \cdot \delta. \quad (2.29)$$

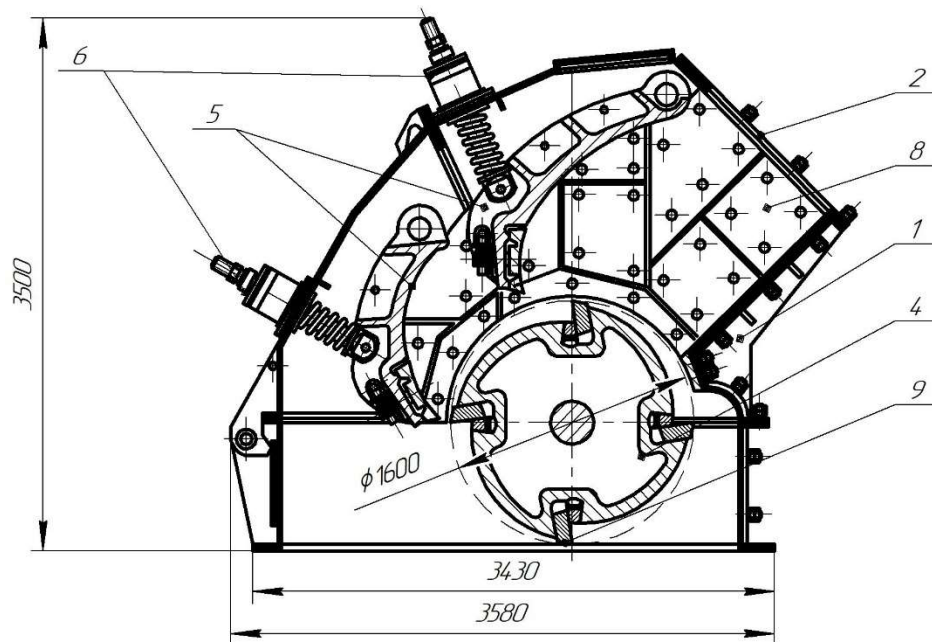
Значення  $K_s$  визначається виразом (2.30) для  $0 < \varepsilon = s/D_p < 0,2$

$$K_s = 1 + 1,9 \cdot \varepsilon. \quad (2.30)$$

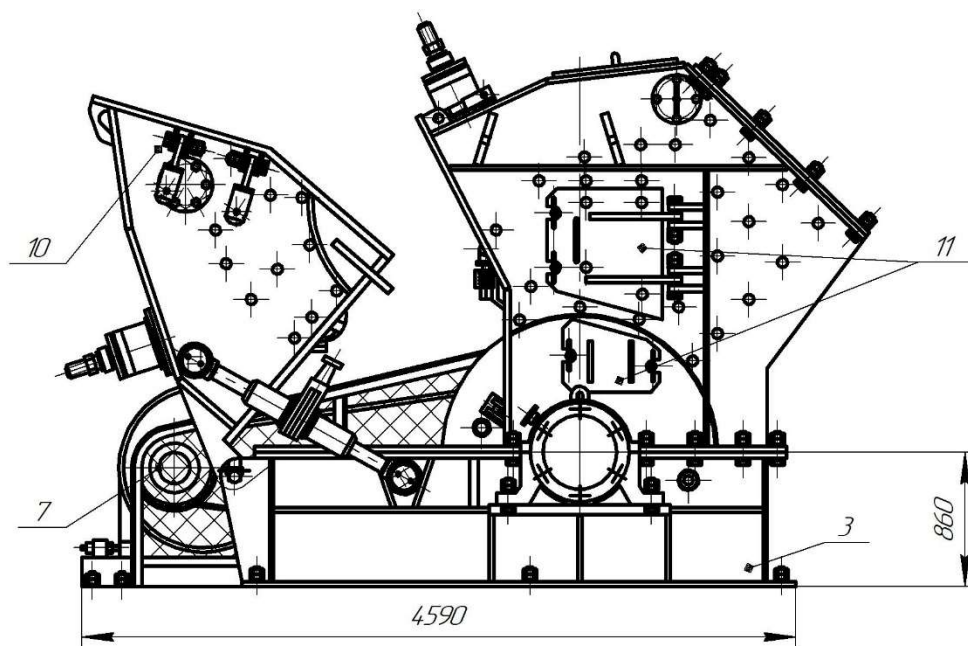
Значення  $K_r$  можна обчислити, користуючись залежністю (2.31) при  $0 < \rho = r/D_p < 0,05$

$$K_r = 1 - 7,9 \cdot \rho. \quad (2.31)$$

Коефіцієнт  $K_\sigma$  визначається виразом (2.32) при  $0 < C_\sigma = \sigma_p/\gamma_0 \cdot D_p < 170$



а



б

1 – корпус; 2 – завантажувальне вікно; 3 – опорна рама; 4 – ротор; 5 - відбійні плити; 6 – механізм для регулювання; 7 – привідний пристрій; 8 – бокові броньові плити; 9 – біла; 10 – рухомий корпус; 11 – люки для технічного огляду

а – розріз; б – зовнішній вигляд з відкритим корпусом

Рисунок 2.2 – Однороторна дробарка

$$K_{\sigma} = 1 - \frac{C_{\sigma}}{700}. \quad (2.32)$$

Значення  $K_B$  розраховується за формулою (2.33) при  $\delta \leq 0,3$ . Якщо  $\delta > 0,3$ , у формулі приймають  $\delta > 0,3$

$$K_B = \left( 1 - \frac{\tau \cdot z}{\pi - \delta \cdot z} \right)^y, \quad (2.33)$$

де  $y$  - показник ступеня, який залежить від форми дроблення й знаходиться у

межах  $1 < y < 2$ ;

$\delta$  - відносна величина найбільших шматків.

$$\delta = \frac{D}{D_p}, \quad (2.34)$$

Критерій швидкості

$$C_v = \frac{v_p^2}{D_p} = \frac{35^2}{1,6} = 765 \text{ м/с}^2. \quad (2.35)$$

За графіком на рисунку (Рисунок 2.3) знаходимо для  $C_v = 765 \text{ м/с}^2$  показник ступеня при  $z: q = 0,64$ .

$$C_v = v_p^2 / D_p$$

Поправочний коефіцієнт на кут установки першої відбивної плити знаходимо за графіком на рисунку (Рисунок 2.4) або за формулою

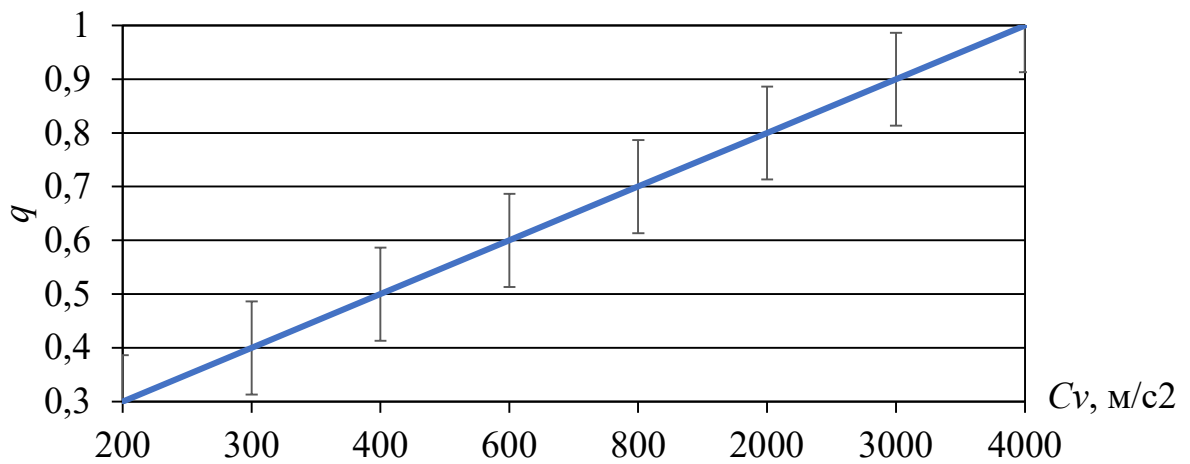


Рисунок 2.3 – Залежність показника ступеня від критерію швидкості

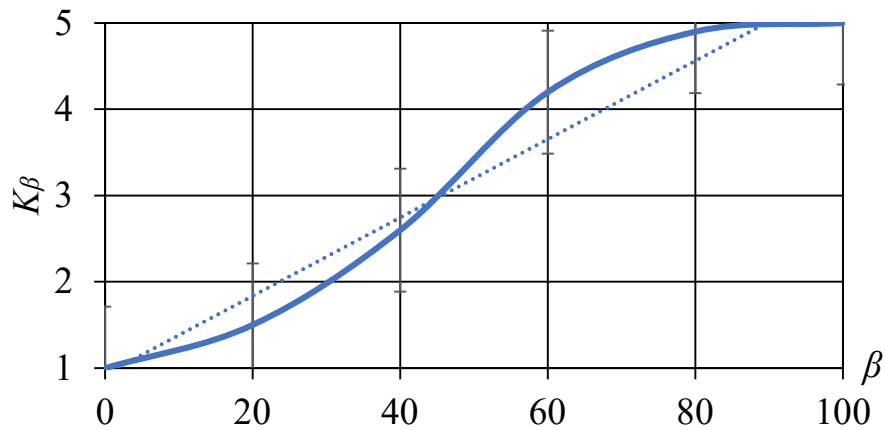


Рисунок 2.4 – Поправочний коефіцієнт на кут установки першої відбивної ПЛИТИ

$$K_\beta = 1 - 0,49 \cdot \sin \beta + 4,7 \cdot \sin^2 \beta = 1 - 0,49 \cdot \sin 20^\circ + 4,7 \cdot \sin^2 20^\circ = 1,38. \quad (2.36)$$

Для визначення поправочного коефіцієнта на крупність матеріалу, що завантажується розраховуємо відносний розмір максимального куска

$$\delta = \frac{D_m}{D_p} = \frac{0,8}{1,6} = 0,5.$$



Так як  $\delta > 0,2$ , то приймаємо  $K_D = 0,3$ .

Щоб визначити поправочні коефіцієнти на ширина вихідної щілини і заокруглення передньої кромки біла, обчислив відносні їх розміри

$$\varepsilon = \frac{s_1}{D_p} = \frac{0,16}{1,6} = 0,1, \quad (2.37)$$

$$\rho = \frac{r}{D_h} = \frac{0,03}{1,6} = 0,019. \quad (2.38)$$

За графіком на рисунку (Рисунок 2.5) або за формулою (2.30) знаходимо

$$K_s = 1 + 1,9 \cdot 0,1 = 1,19,$$

За графіком на рисунку (Рисунок 2.6) або за формулою (2.31) встановлюємо

$$K_r = 1 - 7,9 \cdot 0,019 = 0,85.$$

Для визначення поправочного коефіцієнта на міцність дробленого матеріалу підраховуємо критерій міцності

$$C_\sigma = \frac{\sigma_p}{\gamma_0 \cdot D_p} = \frac{100}{2,5 \cdot 1,6} = 25. \quad (2.39)$$

За графіком на рисунку (Рисунок 2.7) або за формулою (Формула 2.32) знаходимо

$$K_\sigma = 1 - \frac{C_\sigma}{700} = 1 - \frac{25}{700} = 0,96.$$

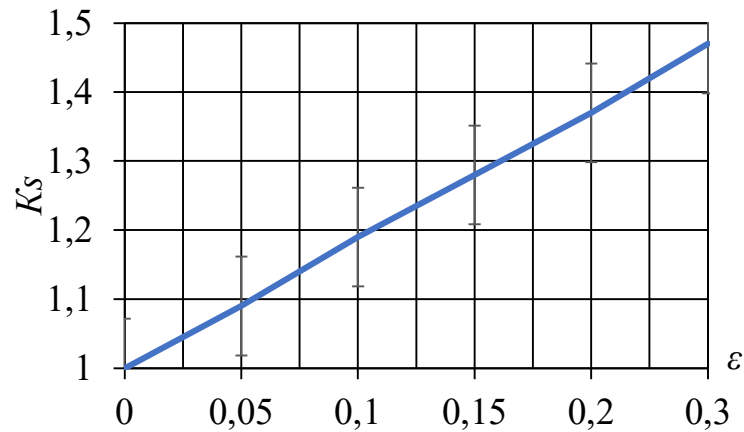


Рисунок 2.5 – Поправочний коефіцієнт на ширину вихідний щілини першої камери дроблення

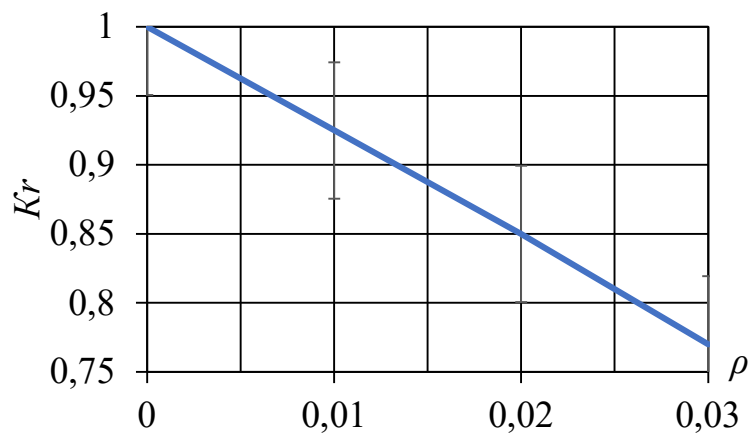


Рисунок 2.6 – Поправочний коефіцієнт на радіус заокруглення передніх кромки бил

Щоб обчислити поправочний коефіцієнт на ширину зовнішньої поверхні била, знайдемо відносну величину ширини зовнішньої поверхні

$$\tau = \frac{b}{D_p} = \frac{0,06}{1,6} = 0,0375. \quad (2.40)$$

Коефіцієнт підраховуємо по формулі (Формула 2.33), підставляючи в неї  $\delta = 0,3$ , так як  $\delta > 0,3$

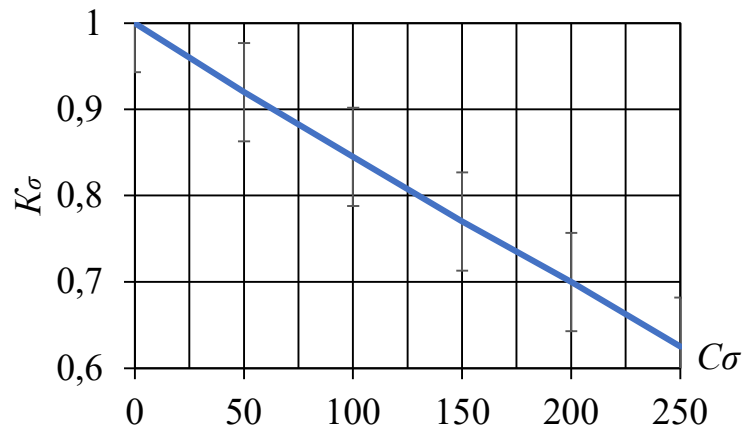


Рисунок 2.7 – Поправочний коефіцієнт на міцність і щільність дробленого матеріалу в залежності від критерію  $C_\sigma$

$$K_B = \left( 1 - \frac{0,0375 \cdot 4}{3,14 - 0,3 \cdot 4} \right)^{1,5} = 0,85.$$

При визначенні максимальної продуктивності приймаємо  $Q_0 = 1900 \text{ м}^3/\text{год}$ . Знаходимо максимальну продуктивність за формулою (2.27)

$$Q_m = 1900 \cdot \frac{1,25 \cdot 1,6^{1,5}}{35^{0,35} \cdot 4^{0,64}} \cdot 1,38 \cdot 0,3 \cdot 1,19 \cdot 0,85 \cdot 0,96 \cdot 0,85 \text{ м}^3/\text{год}.$$

За наближеною формулою (Формула 2.41)

$$Q_m = 480 \cdot \frac{L_p \cdot D_p^{1,5}}{v_p^{0,35} \cdot z^{0,5}} \cdot K_\beta = \frac{480 \cdot 1,25 \cdot 1,6^{1,5} \cdot 1,38}{35^{0,35} \cdot 4^{0,64}} = 243 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.41)$$

Коефіцієнт крупності  $K_D$  виведений з припущення, що у переданому матеріалі міститься до 50% шматків максимальним розміром  $D_m$  від загальної маси. Однак іноді шматки максимальним розміром складають незначну частину, в той час як основна маса матеріалу є порівняно дрібні шматки. В цьому випадку

при надходженні маси дрібного матеріалу продуктивність може бути значно вище, так як для такого матеріалу коефіцієнт  $K_D$  збільшується.

Розглянемо наведений вище приклад за умови, що частка всієї маси матеріалу, що завантажується  $\alpha = 0,55$  містить шматки розміром не більше 200мм, що становить

$$\delta = \frac{D_m}{D_p} = \frac{200}{1600} = 0,125.$$

Для такого матеріалу поправочний коефіцієнт крупності відповідно до формули (2.29) дорівнює

$$K_{D_\alpha} = 1 - 3,4 \cdot 0,125 = 0,575.$$

Для решти ж маси, що становить частку  $\beta = 1 - \alpha = 0,45$ , поправочний коефіцієнт  $K_{D_\beta} = 0,3$ . Так як частки  $\alpha$  й  $\beta$  завантажується маси будуть дробитися при різній продуктивності, то середній поправочний коефіцієнт крупності слід підраховувати за формулою

$$K_D = \frac{K_{D_\alpha} \cdot K_{D_\beta}}{\alpha \cdot K_{D_\beta} + \beta \cdot K_{D_\alpha}}. \quad (2.42)$$

Для розглянутого випадку

$$K_D = \frac{0,575 \cdot 0,3}{0,55 \cdot 0,3 + 0,45 \cdot 0,575} = 0,406.$$

Отже, максимальна продуктивність

$$Q_m = 195 \cdot \frac{0,406}{0,3} = 264 \text{ м}^3/\text{Год.}$$

В окремі періоди часу, коли буде завантажуватися дрібніший матеріал, продуктивність зростає до значення, відповідного найвищим коефіцієнтом  $K_{D_a} = 0,575$ , тобто дорівнює

$$Q_m = 195 \cdot \frac{0,575}{0,3} = 374 \text{ м}^3/\text{Год.}$$

В даному випадку розрахунок потужності електродвигуна повинен бути проведений з урахуванням періодичної роботи на підвищеній продуктивності, тобто на  $Q_m = 374 \text{ м}^3/\text{Год.}$

У розглянутому прикладі радіус заокруглення кромки біла  $r = 0,03 \text{ м}$  прийнятий з урахуванням його зносу. Якщо ж дробарка переробляє матеріал досить низькою абразивності ( $I = 1 - 2 \text{ г/т}$ ) і є можливість підтримувати кромку біла в загостреному стані, не допускаючи її притуплення більш ніж на 8 мм, то для відносної величини заокруглення  $\rho = 0,008/1,6 = 0,005$  коефіцієнт  $K_r$  підвищується до 0,96, а отже, може бути вище і продуктивність

$$Q_m = 195 \cdot \frac{0,96}{0,85} = 220 \text{ м}^3/\text{Год.}$$

### 2.2.2 Наближене визначення продуктивності по головним параметрам

Для зіставлення з дробарками різних типів можна користуватися статистичними формулами.

На основі даних фірм були виведені середньостатистичні залежності продуктивності від площі проекції ротора  $S_{np} = L_p \cdot D_p$ . При цьому розглядалося близько 80 типорозмірів дробарок великого дроблення. Для дробарок,

зображених на рисунку (Рисунок 2.8), що відрізняються невеликими кутами установки першої відбивної плити  $\beta_1 = 0 - 20^\circ$  і модулем ротора  $m_2 = 170 - 400$  мм

$$Q_{\max} = (0,6 \div 1,3) \cdot 47 \cdot S_{np}^{1,6} \text{ м}^3/\text{Год}, \quad (2.43)$$

$$Q_{\min} = (0,6 \div 1,3) \cdot 22 \cdot S_{np}^{1,3} \text{ м}^3/\text{Год}. \quad (2.44)$$

У цих формулах  $Q_{\max}$  і  $Q_{\min}$  відповідають граничним значенням продуктивностей, що вказуються фірмами для різних умов дроблення, коефіцієнти при  $S_{np}$  відповідають модальним значенням, а коефіцієнти в дужках – ймовірним відхиленням від цих значень, обумовленим конструктивними відмінностями.

Для розглянутого вище прикладу модальні значення продуктивностей

$$Q_{\max} = 47 \cdot (1,25 \cdot 1,6)^{1,6} = 145 \text{ м}^3/\text{Год},$$

$$Q_{\min} = 47 \cdot (1,25 \cdot 1,6)^{1,3} = 54 \text{ м}^3/\text{Год},$$

а ймовірні їх відхилення

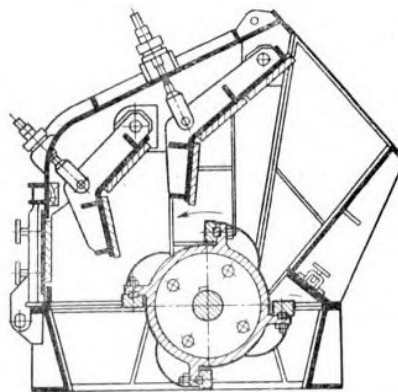


Рисунок 2.8 – Роторна дробарка типу PR-3 фірми Dragon

$$Q_{\max} = (87 \div 189) \text{ м}^3/\text{ГОД},$$

$$Q_{\min} = (33 \div 76) \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

Так як в проспектах вказуються експлуатаційні продуктивності, то за формулами (2.43) і (2.44) можна визначити експлуатаційну, а не максимальну продуктивність. Формули (2.27), (2.41), (2.43) і (2.44) справедливі для дробарок з вільною розвантаженням і з контрольної ґратами, частково охоплює нижню півколо ротора.

### 2.3 Данні по знос деталей дробарок

Для ефективної експлуатації дробарки важливо знати особливості зносу її робочих органів, вплив зносу на показники процесу дроблення і працездатність машини, а також у своєму розпорядженні мати дані про терміни служби, деталей і методах їх відновлення. Знос робочих органів істотно змінює показники роботи роторних дробарок. Основними деталями, що піддаються зношування, є біла ротора, ротор, відбивні плити і решітка.

#### 2.3.1 Біла ротора

Товщина біла  $b_0$  (Рисунок 2.9) визначається з міркувань мінімального питомої зносу і умовами міцності. Збільшення товщини біла не підвищує його термін служби, так як його зовнішня поверхня стирається в 4 - 5 разів швидше робочої незалежно від ширини зовнішньої поверхні. Внаслідок цього біло швидше коротшає по висоті до граничного розміру, ніж зношується по товщині.

Якщо било спирається по всій довжині опорної поверхні і виготовлено з в'язкою стали аустенітного класу, наприклад зі сталі марки 110Г13Л (ГОСТ 2176-67),

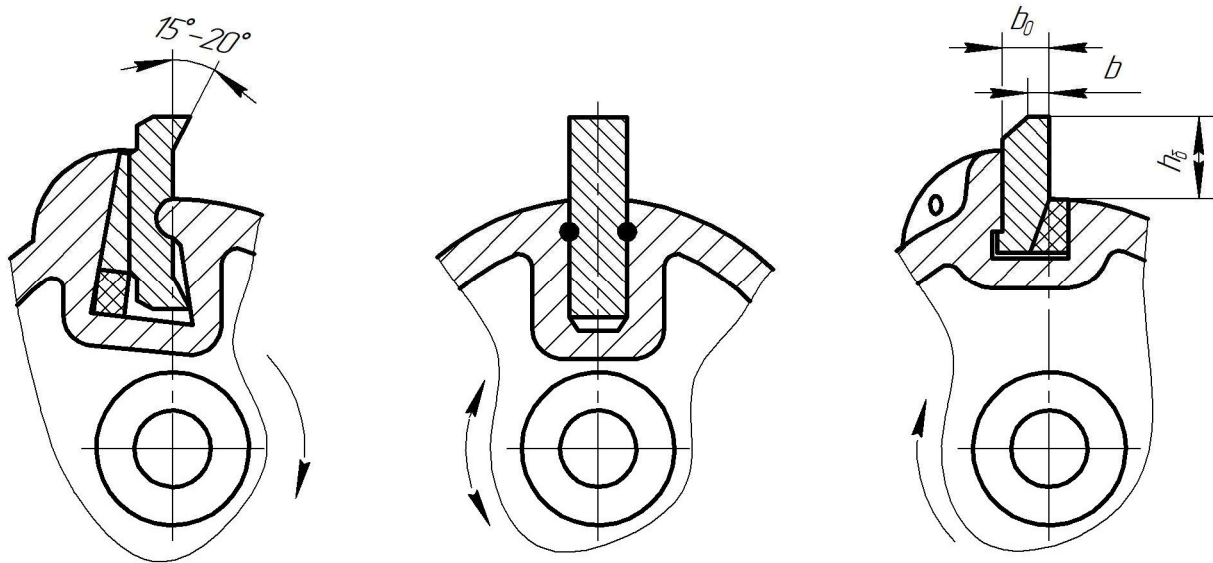


Рисунок 2.9 – Елементи бил й варіанти їх виконання

його товщина може становити  $(0,4 - 0,6) h_0$ . Била які виготовлені з більш тендітних сталей підвищеної твердості, можуть мати більшу товщину де  $b_0 \geq h_0$ .

Площина робочої поверхні била найчастіше проходить через вісь обертання ротора, що забезпечує прямий удар. Більш ефективний удар створює передня кромка била, проте в результаті інтенсивного зношування вона поступово закруглюється і ефект удару знижується. Щоб компенсувати цю втрату ефективності, частина робочої поверхні нахиляють по ходу обертання на  $15-20^\circ$  (Рисунок 2.9, а), що збільшує концентрацію напружень, що виникають в шматку дробленого матеріалу при ударі, при деякому заокругленні кромки.

### 2.3.2 Ротор

Зовнішня поверхня ротора піддається інтенсивному зношуванню, особливо якщо дробарки мають надмірно зношені била. При цьому зважаючи на значне зниження висоти бив ймовірність зіткнення дробленого матеріалу з корпусом ротора збільшується в породільній його частини. Остання і разом з цим деякі



деталі кріплення біла піддаються абразивного стирання. При зношуванні зовнішньої поверхні порушується балансування ротора і зменшується надійність кріплення бил.

Торцева поверхня ротора, якщо вона не захищена торцевими дисками, схильна до абразивного зношування внаслідок попаданні дрібних частинок матеріалу між корпусом ротора і корпусом дробарки. Знос торцевої поверхні тягне за собою руйнування деталей кріплення бил.

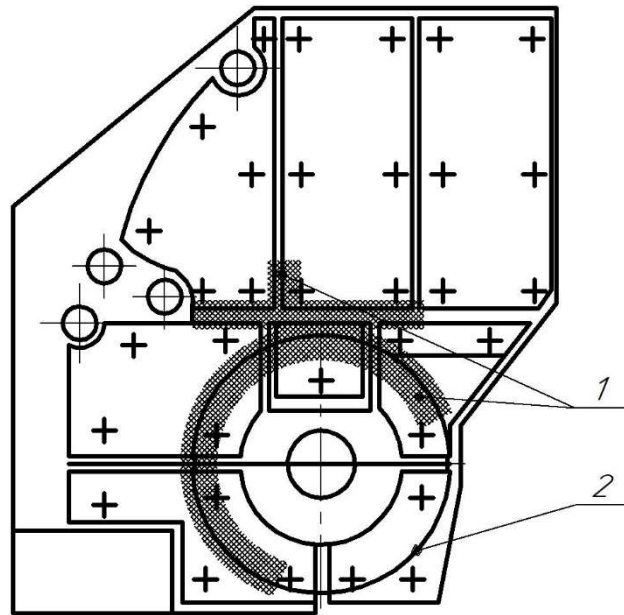
### 2.3.3 Решітка і відбивні плити

Решітка і відбивні плити зношуються менш значно, ніж біла. Порівняльні показники питомого зносу для плит і бічний футеровки наведені в [1]. На (Рисунок 3.2) показаний знос колосникових грат. Як видно з малюнку, зношування схильна до найбільш близька до ротора частина.

### 2.3.4 Бічне футерування

У конструкціях дробарок з роторами без торцевих дисків інтенсивному зношування піддається бічна футеровка і зоні обертання бив (Рисунок 2.10). Найбільш активно зношуються місця стиків листів футерування, сполученні частин корпусу, а також місця установки кріпильних болтів. Всі ці місця мають незначні початкові невірності чи западини, які створюють умови для інтенсивного зносу.

Футеровка задньої і передньої стінок корпусу. У роторних дробарках з колосниковими гратами продукт дроблення з більшою швидкістю вдаряється об задню стінку, викликаючи абразивне зношування останньої. На Турдейском кам'яному кар'єрі термін служби задньої футерування в дробарці моделі СМ-624 склав майже 3 роки. Термін служби болтів кріплення футеровок, виготовлених зі сталі марки Сталь 3, набагато менше.



1 – зони активного зносу; 2 – окружність обертання бил ротора

Рисунок 2.10 – Знос бічний футеровки дробарки моделі СМ-624

Передні стінки зазнають інтенсивного зношування в конструкціях з великим кутом установки колосників або плит (наприклад, з кутом  $150^\circ - 180^\circ$  в дробарках моделей СМ-624 і С-643). У цих конструкціях дробимий матеріал з колосників направляється на передню стінку. Відбиваючись від неї, матеріал знову взаємодіє з ротором і передньою стінкою. При цьому відбувається інтенсивне зношування всіх деталей. У нових конструкціях роторних дробарок передня стінка на відстані від ротора на  $(0,1 - 0,2)D_p$ , що зменшує її знос.

#### 2.4 Висновки та рекомендації по розділу

На підставі проведеного аналізу показано, що при моделюванні роторних дробарок необхідно дотримуватися не тільки геометричних, а й фізичних подібностей моделі і натурі. Для дотримання повної подібності процесу

дроблення потрібно задовольнити рівність критеріїв. Для виконання умов за першою з них необхідно, щоб відношення об'ємних ваг середовища, в якій відбувається дроблення, і вихідного матеріалу залишалось незмінним. Це може бути досягнуто при установці моделі в геометрично ізольованій ємності зі зниженим або підвищеним тиском повітряного середовища.

Проведений аналіз критеріальних відносин показує, що забезпечити повне задоволення всім критеріям при моделюванні процесу дроблення в роторній дробарці не представляється можливим. З цією метою було проведено моделювання процесу дроблення роторних дробарок при масштабному коефіцієнті лінійних розмірів.

А саме можна зробити висновки:

- а) дослідження на моделі можна переносити на великі дробарки, якщо останні призначені для роботи на міцних і високоміцних матеріалах;
- б) для великих дробарок, що працюють на порівняно слабких матеріалах, моделювання на моделях за даною методикою важко.

На основі проведених аналізів можна також зробити наступні висновки:

- а) для розрахунку середньої статистичної продуктивності необхідно в принципі – розміри ротора та статистичні дані;
- б) визначення максимальної продуктивності – коли відомі конструктивні й технологічні параметри.

## **3 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОСУ БИЛ**

### 3.1 Програма досліджень

Мета досліджень:

- а) виявити знос (ресурс) бил до та після їх відновлення;
- б) отримати дані про динаміку зносу при взаємодії бил з матеріалом.

Била перед установкою на установку піддавалися обмірами для оцінки зміни геометричних параметрів, що відбуваються в результаті зношування.

Інтенсивність зносу молотків залежить від ряду факторів, які можуть бути розділені виділити:

- а) показники зносостійкості й абразивності бил;
- б) товщина, геометрія та матеріал бил;
- в) кутова швидкість ротора, ступінь дроблення;
- г) фізико-механічні властивості дробимого матеріалу.

Предметом дослідження є била які використовуються в дробарках роторного типу й застосовуються в металургійному та видобувному виробництвах.

Завдання зводилося до встановлення наступних залежностей:

- а) Вплив матеріалу молотка на:
  - 1) динаміку зносу бил;
  - 2) ресурс молотка.
- б) Вплив переробляється на:
  - 1) тривалість роботи бил виготовлених з різних матеріалів зрізним покриттям;
  - 2) динаміку зносу бил.

### 3.2 Методика експериментальних досліджень й проведення експерименту

На базі досліджень, проведених у ВНДІСтройдормаше, розроблені методика і прилад для визначення показників зносостійкості матеріалу бив роторних і молоткових дробарок ударної дії.

Прилад (Рисунок 1.4) являє собою модель трехкамерної однороторної дробарки з двухбильним ротором 3% мають діаметр  $D_p = 250$  мм і довжину  $L_p = 50$  мм, насадженим на конічний вал. Чотири біла-зразка, вставляються в корпус ротора попарне кожного боку, закріплюються клинами і можуть бути легко зняті для зважування. Ротор має торцеві диски діаметром 250 мм, що дозволяють встановлювати кінці бвл-зразків на однаковій відстані від центру обертання, вирівнюючи їх по зовнішньому колу дисків. Форма відбивних поверхонь плит подібна формі плит промислових дробарок типу ДРС за ГОСТом 12376-71 [33]. Ширина вихідних щілин  $5 - 10 \pm 0,5$  мм. У моделі є два бункера: верхній – забезпечений шибером, службовий – для вихідного абразивного матеріалу, і нижній для продукту дроблення. Через ремінну передачу ротор приводиться в обертання двошвидкісним електродвигуном, що забезпечує дві окружні швидкості ротора – 30 і 60 м/с. Показники абразивності і зносостійкості визначаються на цих двох швидкостях.

При випробуванні в бункер насипається абразивний матеріал, розсіяного на ситах з круглими отворами розміром 10, 15 і 20 мм на фракції 10 - 15 і 15 - 20 мм і змішаного в рівних частках по масі. При цьому шибер бункера закритий. Біла-зразки, попередньо зношені до утворення слідів зносу по всій зовнішній поверхні, зважуються на аналітичних вагах з точністю до 0,2 мг і встановлюються на ротор. Включається електродвигун і абразивний матеріал при швидкому відкриванні шибера всипається в камеру дроблення, чим досягається стабільність заповнення в окремих дослідах. Після закінчення дроблення біла-зразки виймаються, очищаються від пилу і зважуються.

Випробування проводяться 3 рази на швидкості 30 м/с і 2 рази на швидкості 60 м/с. Для кожного режиму випробуванні виводиться середнє арифметичне значення визначається показника.

Для отримання показника абразивності матеріалу еталоном служать біла-зразки, виготовлені зі сталі марки 45 по ГОСТу 1050-60 [34], термічно оброблені до твердості 28- 32 НРС. Показниками абразивності є питомі знос нетто в г/т, що позначаються  $I_{30}$  і  $I_{60}$ , тобто при окружних швидкостях ротора відповідно 30 і 60 м/с:

$$I_{30} (I_{60}) = \Delta g / G. \quad (3.1)$$

де  $\Delta g$  - сумарний знос чотирьох бил-зразків, мг;

$G$  - кількість переробленого абразивного матеріалу за один дослід, кг.

При малої абразивності через модель пропускають кілька порцій матеріалу по 1 кг, так, щоб знос кожного біла зразка був не менше 25 мг. Якщо потрібно пропустити близько 100 кг, то для прискорення випробувань можна завантажити в бункер порції по 5 або по 10 кг, пропускаючи їх одночасно. У таких випадках показники  $I_{30}$  і  $I_{60}$  слід помножити відповідно на поправочні коефіцієнти 1,5 (при порції 5 кг) і 1,6 (при порції 10 кг), так як питома знос знижується при збільшенні маси порції.

Для отримання показника зносостійкості матеріалу бил зразки виготовляють з випробувального матеріалу, а як еталон використовують граніт, показники абразивності якого  $I_{30} = 280$  г/т  $I_{60} = 900$  г/т. Але так як граніти навіть одного родовища можуть відрізнятися за абразивності, то перед випробуваннями попередньо визначають дійсні їх показники ( $I_{30}$  і  $I_{60}$ ) і потім, при обчисленні, вносять поправку. Показники зносостійкості для відповідних швидкостей ротора, що позначаються  $I_{30}$  і  $I_{60}$ , в кг/г визначаються так:

$$\left. \begin{aligned} C_{30} &= \frac{G \cdot I_{30E}}{\Delta g \cdot 280}, \\ C_{60} &= \frac{G \cdot I_{60E}}{\Delta g \cdot 900}. \end{aligned} \right\} \quad (3.2)$$

Описана методика рекомендується Комітетом Стандартів (див. Додаток до ГОСТу 12375-70) [33]. У ній строго регламентовані вимоги до матеріалу, білам-зразкам і точності виконання режимів випробувань, що забезпечують отримання показників з точністю  $\pm 7,5\%$ . За даною методикою були визначені показники абразивності різних гірських порід і запропоновано класифікацію їх за категоріями абразивності в умовах роботи бив дробарок ударної дії. Пропонується 5 класів і 11 категорій абразивності, що відрізняються кожна двократним збільшенням від сусідньої нижчої категорії (див. Табл. ДОДАТОК С).

### 3.3 Точність вимірювань

У експериментах, при замірах геометричних параметрів робочої грані молотка, точність окремого безпосереднього вимірювання оцінювалася величинами абсолютної і відносної помилок [37]. Абсолютна помилка визначалася за формулою:

$$E = (A_{cp} - A_1), \quad (3.3)$$

де  $A_{cp}$  - середнє арифметичне значення вимірюваної величини;

$A_1$  - спостережуване значення вимірюваної величини.

Відносна помилка визначалася за формулою:

$$\delta = (E/A_1) \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

де  $\delta$  - відносна помилка виміру, виражена у відсотках.

Відносна помилка результатів, отриманих при визначенні зносу робочої грані молотка оцінювалася помилкою яка визначається за формулою:

$$\delta = \frac{E}{(A_1 - A_2)} \cdot 100\%, \quad (3.16)$$

де  $\delta$  - відносна помилка різниці;

$E$  - середня абсолютна помилка вимірюваної величини;

$A_1$  - середнє значення вимірюваної величини до зносу, прийняте за її дійсне значення;

$A_2$  - середнє значення вимірюваної величини після зносу, прийняте за її дійсне значення.

При визначенні середньої абсолютної помилки вимірюваних величин було помічено, що при досить великому числі вимірювань вона наближається по величині до точності приладів, які використовуються при вимірах. Тому за абсолютну помилку була прийнята точність вимірювальних приборів.

Коефіцієнт надійності, в наших дослідженнях знаходиться в межах від 0,75 до 0,95.

### 3.4 Проведення експерименту й аналіз результатів досліджень

Через те що є обмежений доступ до спеціалізованого лабораторного обладнання необхідного для проведення експериментальних досліджень згідно



перевіреній методиці, яка представлена й описана в попередньому пункті цього розділу, то скористуємось обладнанням кафедри та інших установ для отримання результатів зносу матеріалів бил. Та необхідно буде максимально дотримуватися, при змозі вимог що описані в попередньому пункті.

Для визначення зносостійкості зразків матеріалів молотків дробарок за лабораторних умов кафедри «Металургійне обладнання» ЗДІА розроблена установка для дослідження матеріалів на знос і тертя в абразивному середовищі [35].

Обраний метод дослідження на абразивне зношування засновано на терті зразків, що обертаються, об насипаний шар абразивного середовища (пекового коксу). [36]

За основу було взято свердлильний верстат з регулюванням швидкості обертів за допомогою пасової передачі. В патрон свердлильного верстату закріплюють вал, на якому кріплять хрестовину з розташованими на ній елементами для фіксації зразків матеріалу циліндричної форми для дослідження. Зібрану установку, з зразками, занурюють у встановлену на столі ємність із завантаженим до неї абразивним матеріалом (пековим коксом). Установка дозволяє змінювати лінійну швидкість руху зразків у межах 4,7 - 12,6 м/с. При заміні елементів конструкції (шківів верстата) отримали можливість проводити експерименти у межах 30 - 60 м/с. Загальний вид лабораторної установки надано на рис. (Рисунок 3.1).

Стенд працює наступним чином. До хрестовини 8 через елементи для фіксації 9 кріпляться чотири зразки для дослідження 10, які занурюються на необхідну глибину штурвалом 3 в абразивне середовище 5, що знаходиться у корпусі 4, який закріплено на станині свердлильного верстаті 1. Корпус 4 закривається кришкою 11 з ущільнювачами 12 та 13, а вал 6 другим кінцем з'єднується муфтою 7 з електричним двигуном через пасову передачу 2. Змінювання режиму роботи стенду регулюється швидкістю обертання за допомогою пасової передачі 2 перед подаванням енергії на електричний двигун.



а

б

а – загальний вид; б – корпус установки

Рисунок 3.1 – Вид лабораторної установки

Установка дозволяє досліджувати тертя і зношування різних матеріалів на різноманітних режимах роботи у різних абразивних середовищах.

Сутність методу визначення зносостійкості полягає у тому, що за однакових умов здійснюють одночасне стирання зразків випробуваного матеріалу у контакті з абразивним шаром вапняка. До та після випробування визначають масове зношування зразків за конкретний проміжок часу.

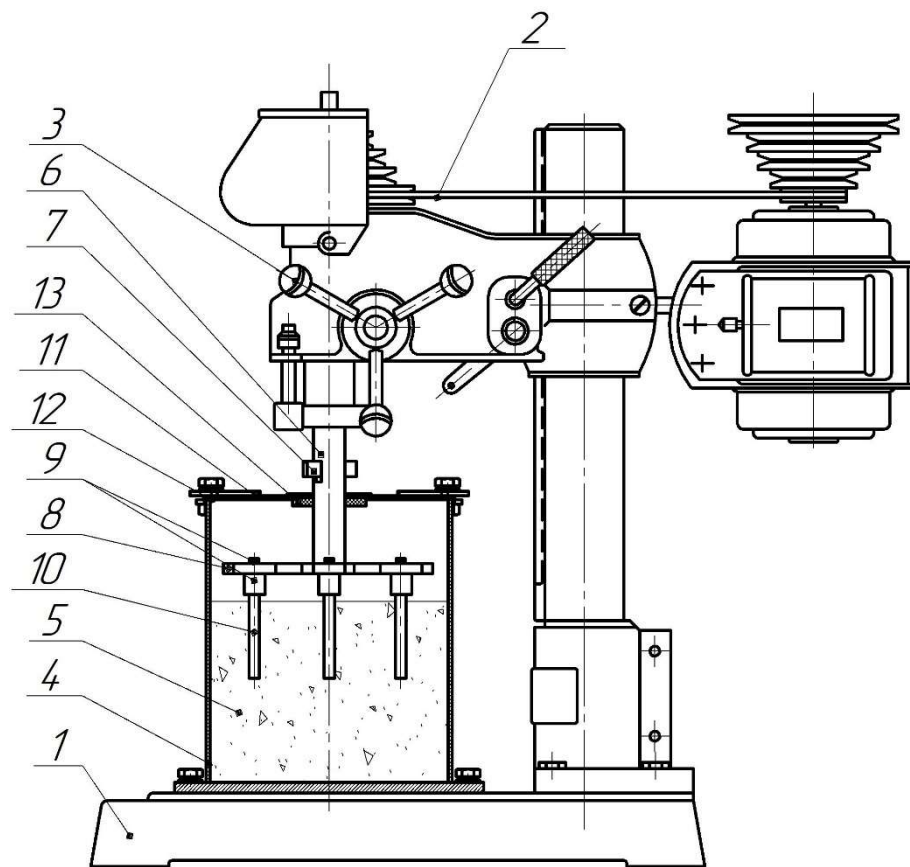
У роботі як вихідні було прийнято матеріали, що подано у табл. (Таблиця 3.1).

Для створення більш агресивного середовища у порівнянні з реальними умовами роботи як абразивний матеріал використовували відсіану фракцію вапняку 1-2 мм.

Здійснювали випробування чотирьох циліндричних зразків діаметром 10 мм і довжиною 100 мм сталі різних марок на абразивний знос занурюванням.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості досліджених матеріалів

Марка сталі	Ударна в'язкість КСУ, кгс/м	Твердість HRC <sub>э</sub> / HB
45	0,6	28 - 32 / -
40ХНМЛ	1,25	- / 330 - 340
70ХНВЛ	0,22	50 / -
110Г13Л	12,5	- / 180 - 220



1 – свердильний верстат; 2 – пасова передача; 3 – штурвал; 4 – корпус; 5 – абразивне середовище; 6 – вал; 7 – муфта; 8 – хрестовина; 9 – елементи для фіксації; 10 – зразки для дослідження; 11- кришка; 12, 13 – ущільнювачі

Рисунок 3.2 – Схема установки для дослідження матеріалів на знос і тертя в абразивному середовищі

Зразки, що піддавали випробуванню, занурювали в абразивне середовище на глибину 50 мм, де їх обертали з лінійною швидкістю 30 та 60 м/с. Загальний

час досліду – 50 годин. Як загальну масу дробимого матеріалу приймаємо 10 кг.

Точність важення та мінімальну втрату маси обирали для можливості кореляції одержаних результатів з дослідами, регламентованими роботами [38, 39]. Зносостійкість матеріалів зразків встановлювали за допомогою вимірювання зношення важенням як одним з методів, що найбільш часто використовують. Важення зразків виконували до і після досліду на аналітичних вагах з ціною ділення 0,1 мг.

Відносну зносостійкість зразка матеріалу, що досліджували, обчислювали за формулою (3.1).

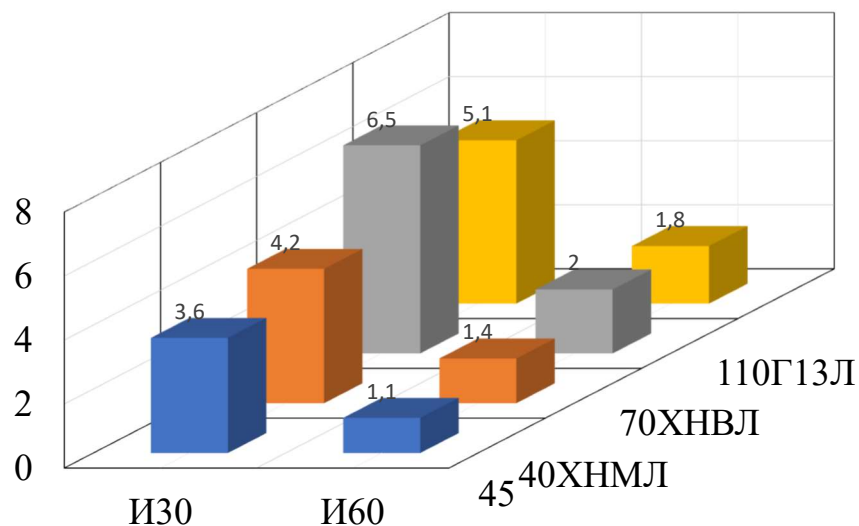


Рисунок 3.3 – Результати виконаних досліджень на зносостійкість

Результати досліджень (Рисунок 3.3) показують, що значно збільшити зносостійкість в порівнянні з розповсюдженою для дробарок сталлю аустенітного класу 110Г13Л, що має показники зносостійкості  $C_{30} = 5$  кг/г і  $C_{60} = 1,7$  кг/г, вельми важко. Ця трудність обумовлюється суперечливими вимогами: збільшенням твердості для підвищення зносостійкості і підвищенням ударної в'язкості, в той час як ударна в'язкість і твердість пов'язані між собою зворотною залежністю.

Проблему можна вирішити не суцільною заміною матеріалу біл, а поперковим зміцненням методом наплавлення нових біл або відновленням що вже знаходяться у роботі.

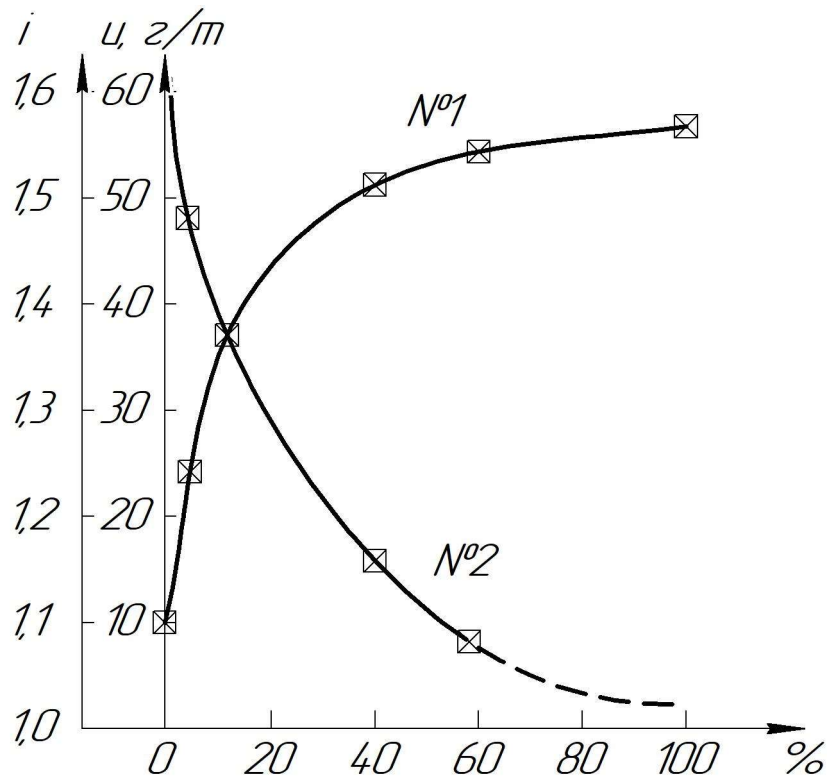
### 3.5 Вплив ступеня зносу біл на показники процесу дроблення

На рис. (Рисунок 3.4) показані результати дослідів з дроблення граніту кар'єра (м. Запоріжжя) на роторній дробарці моделі СМ-624.

Крива №1 (Рисунок 3.4) питомого зносу біл показує збільшення питомого зносу в міру зростання загального зносу біл. Біла в кінці терміну служби мають в 5 разів більший питомий знос, ніж спочатку, причому питомий знос підвищується приблизно паралельно зі збільшенням поверхні, що стосується окружності ротора. Наведене співвідношення питомих внесків на початку і кінці зношування характерно для випускаємих раніше конструкцій біл з потовщеною робочою частиною біла. Для біл конструкції зі зменшеною товщиною головки відношення найбільшого і найменшого питомої зносу менше і залежить від товщини біла [1].

Крива №2 на (Рисунок 3.4) показує зміну ступеня дроблення в залежності від стану біла при незмінному положенні відбивних органів (щілини в дослідях не регулювалися). Зменшення ширини щілини по мірі зносу біл дозволяє підтримувати незмінною ступінь дроблення. При роботі дробарок в замкнутому циклі зі збільшенням зносу бив зростає циркуляційна навантаження, яка може збільшитися до 200%.

На рис. (Рисунок 3.5,а) схематично зображено знос біла в поперечному перерізі дробарки моделі С-643, що експлуатується на різних підприємствах. Коефіцієнт використання металу біл даної конструкції складає всього 25%.

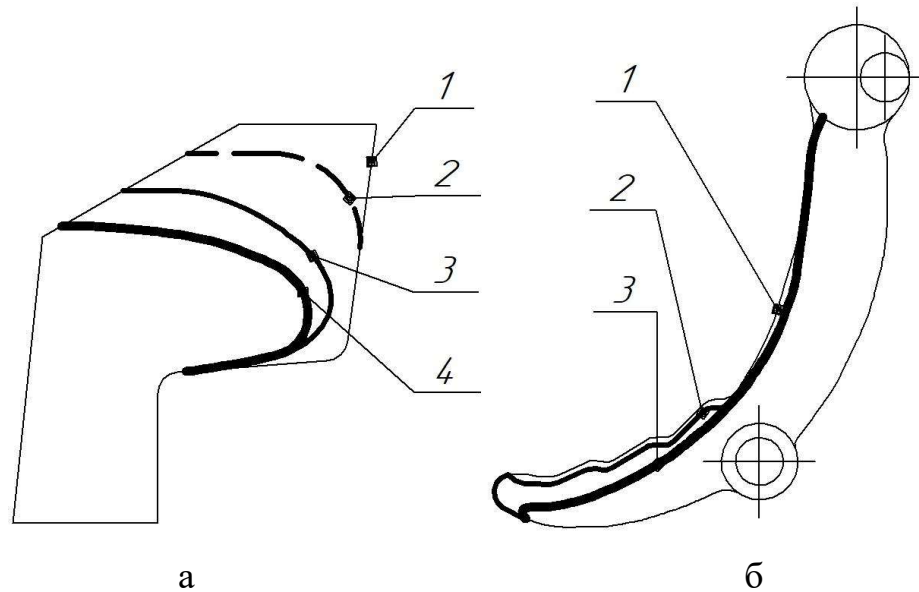


№1 – на знос ( $u$ ); №2 - на ступінь дроблення ( $i$ ) (штрихова лінія - екстрапольована)

Рисунок 3.4 – Вплив ступеня зносу бив на показники процесу дроблення при нерегульованій ширині вихідній щілини

Рівномірність зносу біла по його довжині залежить від рівномірності розподілу вихідного матеріалу по довжині ротора. Цей розподіл залежить від умов подачі матеріалу в дробарку і її конструкції. У дробарках первинного дроблення у роторів без торцевих дисків біла по довжині зношуються майже рівномірно. У дробарках вторинного дроблення, подавання до яких відбувається зазвичай з стрічкових конвеєрів, які подають матеріал вузьким потоком, знос трохи більше в середній частині біла.

Для ротора з торцевими дисками ділянки біла, прилеглі до дисків, зношуються менш інтенсивно. Довжина цих ділянок невелика. У дробарці моделі СМД-75, ця частина становить близько 15 мм.



1 – первинна поверхня; 2, 3, 4 – поверхні зносу

а – било; б – нижня решітка

Рисунок 3.5 – Контури робочих органів дробарки моделі С-643 після переробки певної кількості вапняку

Питомий знос бил, встановлених на промислових дробарках, наведені в табл. (Додаток А).

### 3.6 Висновки по розділу

Підвищення зносостійкості бил можна домогтися, параметри молотка з застосуванням зносостійких матеріалів. При цьому можуть бути отримані або точні якісні співвідношення між параметрами і показниками аналізованого процесу або ж співвідношення вказуватимуть тільки напрямок впливу того чи іншого чинника на характеристики досліджуваного процесу. Результат буде залежати від конкретних властивостей обраної схеми і параметрів з урахуванням їх зносу.





## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Пилоутворення і боротьба з пилом

При експлуатації дробильного обладнання найважливішим завданням є захист обслуговуючого персоналу від шкідливих впливів пилу. [25]

Процес дроблення шматків матеріалу в дробильних машинах відбувається з утворенням дрібнодисперсних частинок. Крім того, матеріали також містять дрібні пилоподібні фракції, що утворилися в результаті руйнування, а також від стирання при перевантаженнях і транспортуванні. Повітряні потоки, що виникають від руху робочих органів дробарок і вільного руху шматків матеріалу, захоплюють з собою дрібнодисперсні фракції, виносять їх в навколишню зону промислового приміщення, створюють несприятливі умови для обслуговуючого персоналу.

За характером виділення пилу дробильно обладнання зазвичай поділяють на дві групи. Перша – щокові і конусні дробарки (з хитним робочим органом), друга – молоткові і роторні дробарки. Формування повітряних потоків в роторних дробарках відбувається подібно формуванню повітряних потоків в відцентрових вентиляторах при швидкому обертанні роторів. Швидкості виходу повітря досягають 7 м/с.

За технологічним циклом сполучається дробильно обладнання з перевантажувальними обладнаннями – тічками, воронками, бункерами, конвеєрами. Рухомий матеріал захоплює повітря, що нагнітається в технологічні ємності, створюючи в них надлишковий тиск.

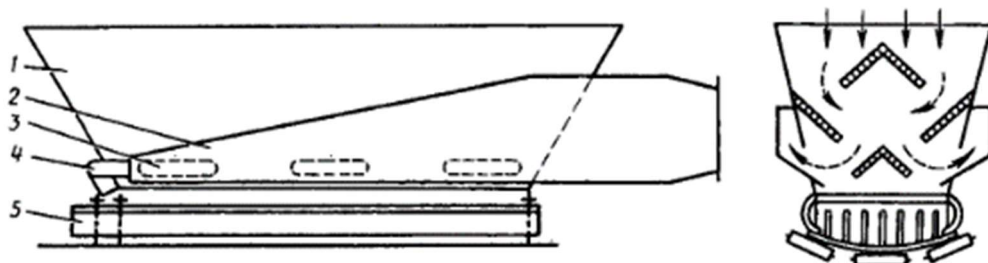
Для захисту виробничого приміщення від викиду пилу застосовують герметичні укриття обладнання, течок, місць пересипання.

До укриття ставляться такі вимоги: їх форма повинна відповідати аеродинаміці пило повітряних потоків; обсяги укриття повинні бути оптимальними (завищені обсяги вимагають підвищеної відсмоктування пило повітряної суміші, а малий обсяг знижує ефективність аспірації і сприяє пиловидаленням внаслідок великих швидкостей руху в них повітря); укриття конструкції повинні бути просторими і забезпечувати вільний доступ до робочих місць обладнання.

На практиці зазвичай використовують типові укриття обладнання, розроблені інститутами. Приклад типового укриття для роторної дробарки наведено на (Рисунок 4.1). Це укриття об'ємного типу. У середині укриття встановлені пило гасителі швидкості матеріалу і повітряного потоку. Пил відсмоктується через вентиляційні вікна по двох бічних воздуховодам. Місця проходу матеріалу і стрічки конвеєра перекриті гнучкою шторкою.

Пилівідсмоктувальної вентиляція-аспірація повинна забезпечувати підтримку в укриттях деякого розрідження, значення якого є визначальною для попередження викиду пилу.

Забезпечення необхідного рівня розрідження досягається пиловідсмоктувальної вентиляцією, обсяги якої залежать від виду обладнання, форми і типу укриттів, характеру готового продукту і ін. І визначаються за спеціальними методиками. Орієнтовані значення обсягів повітря в роторних



1 – корпус; 2 – повітрявідвід; вентиляційне вікно; додаткове розрядження;  
уцільнювач

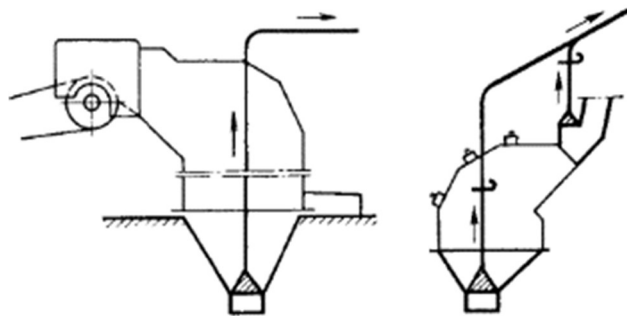
Рис. 4.1 – Схема типового укриття розробленого науковим інститутом

дробарках відповідає 6600 – 9000 м<sup>3</sup>/год.

Щоб робота технологічного обладнання була неможлива без дії аспіраційних установок, передбачено блокування електроприводів аспіраційного обладнання з технологічним і пуск її з випередженням до 3 хв.

Для ефективного пиловидалення і я в тих випадках, коли дозволяє технологічний процес, широко використовують гідро- і парообеспилювання, завдяки якому за допомогою розпорошеної води і пароводяного туману зволожується матеріал і пригнічується пилова хмара.

Відповідно особливостям формування повітряних потоків рекомендуються дві основні схеми аспірації: з одним місцевим відсмоктуванням від укриття випускний тічки - для дробарок з колосниковими ґратами (Рисунок 4.2,а) і з двома місцевими відсмоктувачами, від випускний і приймальні течок - для дробарок з відбивними плитами ( Рисунок 4.2,б).



а – з колосниковими ґратами; б – з віддзеркалюваними плитами

Рис. 4.2 – Схеми що рекомендують до аспірації роторних дробарок

#### 4.2 Шум я заходи щодо зниження його рівня

Дроблення матеріалів в дробарках і дробильних установках пов'язано зі значним утворенням шуму, що виникає при розколі шматків і вібрації деталей від імпульсних впливів зусиль дроблення.

ВНДІстройдормашем і НІППОТстромом проведені дослідження шумових характеристик дробильного обладнання окремо для дробарок кожного типу (щоккових, конусних, роторних, молоткових), що розрізняються конструкцією, способом впливу на матеріал, областю застосування і видом переробляються. Для вивчення брали дробарки, що працюють в паспортних умовах або близьким до них.

Результати досліджень машин одного типу групували в статистичну сукупність, по якій знаходили узагальнену шумову характеристику і довірчий інтервал з ймовірністю 95%. Верхню межу довірчого інтервалу брали в якості технічно досяжної шумової характеристики обладнання даного типу (Таблиця 4.1).

Слід зазначити, що технічно досяжні шумові характеристики дробильного обладнання є верхньою межею рівня шуму, можливим для даного обладнання

Таблиця 4.1 – Шумові характеристики дробарки

Тип дробарки	Рівень звукового тиску, дБ, в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Роторні	97/105	95/100	94/103	92/104	93/103	93/100	89/95	82/85

при роботі його в найбільш важких умовах (найбільшої міцності і крупності дробленого матеріалу, при максимальній продуктивності і ін.).

Вплив продуктивності роторної дробарки позначається значно лише при невеликих навантаженнях (до 10 - 20% від паспортної). Це відповідає умові, коли в камері дроблення знаходиться невелика кількість матеріалу і майже кожен шматок, відкинутий ротором, вдаряється об відбивні плити і корпус дробарки. При збільшенні продуктивності щільність дробленого матеріалу в камері зростає і велика частина шматків матеріалу вдаряється між собою, при цьому спектр шуму стає більш рівномірним.

Для зменшення шумового впливу на обслуговуючий персонал розглядаються два основних способи: зниження шуму, випромінюваного технологічними пристроями; боротьба з проникністю випромінюваного шуму.

За першим способом вибирають оптимальну товщину стінок, підсилюють ізолюючі елементи, застосовують еластичні з'єднання окремих деталей з корпусом, встановлюють дробарки на пружних елементах, поділяють тічки і трубопроводи з еластичними фланцями і ін.

За другим способом застосовують різного виду укриття, встановлюють обладнання в окремих приміщеннях, видаляють пульти управління і робочі зони від безпосередній близькості з дробарками.

Ефективність деяких заходів наведена в табл. (Таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Ефективність деяких заходів

Заходи	Зниження звукового тиску
Установка прокладок товщиною 10 мм на гумовій суміші 1345 (ТУ 38-1053 / 6-72) під футерування відбивних плит	2 - 3
Установка прокладок товщиною 5 мм з гуми «флічної» між відбивними частинами корпусу та відбивними плитами	1 – 2
Шумоізоляція корпусу дробарки нанесенням протишумові мастики № 579 (ТУ 6-10-1268-72), товщина шару 5 - 6 мм	2 – 4
Виброізоляція корпусу дробарки від фундаменту за допомогою прокладок товщиною 20 мм з гумової суміші 1346 (ТУ 38-105376-72)	1 – 2
Шумоізоляція машини шляхом установки дерев'яних з прошарком гуми або повсті щитів, що закривають машину з усіх боків (з отворами для прийому вихідного матеріалу і вивантаження готового продукту)	10 – 15
Шумоізоляція течок нанесенням протишумові мастики № 579 (ТУ 6-10-1268-72), товщина шару 5-6 мм	3 – 4
Перенесення робочого місця на відстань 10 м від корпусу дробарки	10 - 17

### 4.3 Технічне обслуговування роторних дробарок

Щоб уникнути серйозних аварій дробарки необхідно забезпечити уловлювання недобитих тіл з матеріалу, що надходить на дроблення.

Всі механізми дробарки необхідно ретельно оглядати не рідше чотирьох разів на рік, а в перші три місяці після пуску – не рідше двох разів на місяць. Помічені дефекти і ненормальності у роботі дробарки повинні бути негайно усунуті.

Перед пуском дробарки необхідно перевірити:

- а) кріплення шківів, напівмуфт, підшипників, молотків і дисків ротора та інших з'єднань;
- б) наявність масла в підшипниках; вільний чи обертання ротора (прокручуванням);
- в) міцність кріплення броньових плит (обстукуванням і в разі необхідності підтяжкою кріпильних болтів);
- г) справність приводних ременів і з'єднувальних муфт;
- д) справність завантажувальних і розвантажувальних жолобів; щільність закриття люків і лазів корпусу дробарки.

Тільки після перевірки стану дробарки можна включити електродвигун її приводу. У дробарках з рухомими відбійними плитами послідовно включається двигун рухомого полотна плит, потім очисного пристрою і в останню чергу двигун ротора.

У разі появи після пуску дробарки ненормального стуку або інших несправностей електродвигун слід зупинити, виявити і усунути причину поганої роботи дробарки.

Завантажувати матеріал, який підлягає дробленню, в дробарку можна тільки після того, як ротор розжениться до робочого числа обертів.

Під час роботи дробарки слід вести спостереження за:

- а) станом завантажувальних і розвантажувальних воронок;
- б) рівномірним надходженням дробленого матеріалу;
- в) розміром дробленого матеріалу і дробленого продукту;
- г) справною роботою системи мастила.

При дробленні матеріалів з високою вологістю або великим вмістом дрібниці необхідно періодично перевіряти і очищати колосникові ґрати.

Під час роботи дробарки не можна відкривати задню стінку її корпусу.

Періодично, використовуючи зупинки дробарки, слід оглядати стан молотків, колосників і футерованих плит.

Перед зупинкою дробарки слід припинити завантаження дробарки.

Тільки після того, як з завантажувальної воронки припиниться сипатися матеріалу в дробарку, можна вимкнути двигун приводу дробарки.

До зупинки дробарки необхідно прослухати роботу її на холостому ходу, зазначивши в робочому журналі всі помічені несправності для їх усунення.

Після зупинки дробарки все зовнішні частини її очищають від пилу і бруду, а колосникові ґрати – від залишившогося матеріалу, потім встановлюють ступінь придатності до роботи: колосників, відбійних плит і футерування.

Якщо крупність дробленого продукту не відповідає заданій, необхідно:

- а) змінити відповідно зазор між молотками ротора і колосникових ґратами;
- б) перевернути спрацьовані молотки або замінити їх новими; змінити швидкість обертання ротора, велика швидкість обертання відповідає отриманню більш дрібного дробленого продукту, і навпаки;
- в) перебрати колосникові ґрати, змінивши відповідно зазор між колосниками.

При заміні ущільнень підшипників вала ротора слід мати на увазі наступне:

- а) фетрові і повстяні ущільнення допускають швидкість ковзання 5 - 8 м/с.

Перед установкою ущільнень їх слід просочити маслом при температурі 80 - 90°C;

- б) шкіряні ущільнення допускають швидкість ковзання до 5 м/с. Температура нагріву підшипників при наявності шкіряних ущільнень допускається до 65°C. Перед установкою ущільнень їх рекомендується витримати в мінеральному маслі, наполовину розбавленому гасом, при температурі 50°C протягом 5 - 10 хв;
- в) ущільнення з малостійкої гуми допускають швидкість ковзання до 10 - 12 м/с, а температуру нагрівання вузла до 12°C. Гумові ущільнення встановлюють з натягом близько 2-5 мм в залежності від розміру ущільнення.

Основні несправності в роботі молоткових і роторних дробарок і способи їх усунення приведені в табл. (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Основні несправності в роботі роторних дробарок й засоби їх усунення

Характер несправності	Можлива причина несправності	Спосіб усунення
Підвищена вібрація дробарки в перші моменти пуску	Ротор погано збалансовано	Зняти молотки, підібрати їх по вазі так, щоб загальна вага молотків одного ряду відповідав вазі молотків протилежного ряду
Стук в дробарці	Ослабло кріплення футерованих плит, молотки зачіпають за них. Поломка молотка, осі молотка або диска ротора, ослабло кріплення кришок підшипників	Перевірити кріплення броні, перевірити зазор між молотками ротора і колосниками. Замінити зламану деталь, оглянути і затягнути кришки підшипників, очистити робочу зону дробарки від сторонніх предметів



Характер несправності	Можлива причина несправності	Спосіб усунення
Нагрілися підшипники (при дотику рука «не терпить» більше 2-3 с)	Недолік масла, забрудненість масла або пошкодження підшипника	Перевірити кількість і чистоту масла. Якщо нагрій повторюється, змінити масло. Замінити підшипник
Швидкість обертання ротора зменшується, дробарка забивається матеріалом і зупиняється	Нерівномірна подача матеріалу, дробарка періодично перенавантажується, приводний ремінь пробуксовує, забита решітка.	Усунути причину нерівномірного загрузка, натягнуть ремінь, очистити грати
Збільшилася крупність дробленого продукту	Великий знос молотків. Поломка колосників решітки. Решітка забита і матеріал викидається за гратами	Замінити або повернути через зношені молотки, перевірити справність колосникової решітки; очистити грати і з'ясувати причину її забивання

## ВИСНОВКИ

Проведено аналіз факторів, що впливають на ефективність роботи роторних дробарок за допомоги: літературних джерел, огляду сучасних розробок та досягнень які були оглянуті в публікаціях інших авторів та патентах на робочі моделі й винаходи.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень визначено залежності зносу поверхонь бил від матеріалу робочої грані, а саме – твердості й ударної в'язкості.

Розроблено й запропоновано нестандартну методику оцінки ресурсу (зносу) бил для прогнозування ресурсу різних конструкцій бил роторних дробарок, а саме – використання для цього стенду для дослідження матеріалів на тертя та знос розробленого на кафедрі металургійного обладнання ЗДІА.

Згідно проведених досліджень виявлено – що значно збільшити зносостійкість в порівнянні з розповсюдженою для роторних дробарок сталлю аустенітного класу 110Г13Л, вельми важко. Це обумовлюється суперечливими вимогами: збільшенням твердості для підвищення зносостійкості і підвищенням ударної в'язкості, в той час як ударна в'язкість і твердість пов'язані між собою зворотною залежністю.

Проблему можна вирішити не суцільною заміною матеріалу бил, а поверховим зміцненням методом наплавлення нових бил або відновленням що вже знаходяться у роботі, що досить ефективно використовується на підприємствах металургійної та гірничої промисловостей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бауман В. А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов / В. А. Бауман, Б. В. Клушанцев, В. Д. Мартынов. – Москва: Машиностроение, 1981. – 323 с.
2. Клушанцев Б. В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Музеймек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.
3. Эйгенсон Л. С. Моделирование / Л. С. Эйгенсон. – Москва: Советская наука, 1952. – 372 с.
4. Чижииков Ю. М. Теория подобия и моделирования процессов обработки металлов давлением / Ю. М. Чижииков. – Москва: Metallurgy, 1970. – 360 с.
5. Эйгенсон Л. С. Моделирование / Л. С. Эйгенсон. – Москва: Промиздат, 1949. – 240 с.
6. Андреев С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. – Москва: Недра, 1980. – 415 с.
7. Барон Л. И. Экспериментальные исследования процессов разрушения горных пород ударом / Л. И. Барон, Г. М. Веселов, Ю. Г. Коняшин. – Москва: АН СССР, 1962. – 219 с.
8. Барон Л. И. Разрушаемость горных пород свободным ударом / Л. И. Барон, И. Е. Хмельковский. – Москва: Недра, 1971. – 431 с.
9. Барон Л. И. Кусковатость и методы её измерения / Л. И. Барон. – Москва: АН СССР, 1960. – 216 с.
10. Бонд Ф. С. Законы дробления / Ф. С. Бонд // Сборник трудов ВНИИНеруда / Ф. С. Бонд., 1966. – С. 84–96.

11. Олевский В. А. Конструкции, расчеты и эксплуатация дробилок / В. А. Олевский. – Москва: Науч.- техн. изд-во лит. по черной и цветной металлургии, 1958. – 460 с.
12. Родин Р. А. Работа роторных дробилок на первой стадии дробления / Р. А. Родин, Ю. Н. Чернобаев, Е. И. Юницкая // Сборник трудов ВНИИЖелезобетона / Р. А. Родин, Ю. Н. Чернобаев, Е. И. Юницкая. – Москва, 1968. – С. 242–260.
13. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация) / В. П. Барабашкин. – Москва: Машгиз, 1963. – 245 с.
14. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация) / В. П. Барабашкин. – Москва: Недра, 1973. – 194 с.
15. П.Р. ФИЛИПП, УМНОВА В.В. ЧЕЧУЛИНА Г.М. Роторная дробилка. А.с. СССР №1755916. Опубликовано 23.08.92 Бюл.31.
16. В.А. Кузнецов, М.В. Кретин. Роторная дробилка. А.с. СССР №1799620. Опубликовано 07.03.93 Бюл.9.
17. В.К. Мостапенко. Роторная дробилка. Патент на изобретение Р.Ф. № 2091164. Опубликовано 27.09.1997.
18. Тихонов А.А., Гаскаров Н.С., Хайрудинов И.Р., Гимаев Р.Н. Роторная дробилка. Патент на изобретение Р.Ф. № 2205694. Опубликовано 10.06.2003.
19. Тарасов Ю.Д. Роторная дробилка. Патент на изобретение Р.Ф. № 2223147. Опубликовано 10.02.2004.
20. Тарасов Ю.Д. Роторная дробилка. Патент на изобретение Р.Ф. №2252075. Опубликовано 20.05.2005.
21. Тарасов Ю.Д. Роторная дробилка. Патент на изобретение Р.Ф. №2229339. Опубликовано 27.05.2004.

- 22.Иванов В.В., Чепулина Г.М., Жданов А.Н. Роторная дробилка. Патент на изобретение Р.Ф. № 2396121. Опубликовано 10.08.2010.
- 23.Роторные дробилки / В. А.Бауман, В. А. Стрельцов, А. И. Косарев, А. И. Слуцкер. – Москва: Машиностроение, 1973. – 272 с.
- 24.Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – Москва: Мир, 1977. – 555 с.
- 25.Клушанцев Б. В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.
- 26.Борщёв В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие. / В. Я. Борщёв. – Тамбов: ТГТУ, 2004. – 75 с.
- 27.Беренов Д. И. Дробильное оборудование обогатительных и дробильных фабрик / Д. И. Беренов. – Свердловск: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1958. – 296 с.
- 28.Булычёв В. В. Дробильные машины. Конструкция, эксплуатация и ремонт / В. В. Булычёв. – Свердловск: Metallurgizdat, 1957. – 212 с. – (Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии. Свердловское отделение).
- 29.Роторные дробилки / В. А.Бауман, В. А. Стрельцов, А. И. Косарев, А. И. Слуцкер. – Москва: Машиностроение, 1973. – 272 с.
- 30.Фишман М. А. Дробилки ударного действия / М. А. Фишман. – Москва: Госгортехиздат, 1960. – 200 с.
- 31.Німаніхін С. В. Знос та відновлення елементів роторних дробарок / А. С. Німаніхін, С. В. Шевченко. // МАТЕРІАЛИ ХХІV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Запорізький національний університет Інженерний інститут. – 2019. – №24. – С. 50.

32. Німаніхін С.В. Огляд конструкцій роторних дробарок / С. В. Німаніхін, Ю. Г. Кобрін. // МАТЕРІАЛИ XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Запорізький національний університет Інженерний інститут. – 2019. – №24. – С. 54.
33. ГОСТ 12376-71. Дробилки однороторные среднего и мелкого дробления. Технические условия (с Изменениями № 1, 2, 3). Введ. 20.12.89. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1985. – 18 с.
34. ГОСТ 1050-88. Сталь качественная и высококачественная. Сортовой и фасонный прокат, калиброванная сталь.
35. Патент України на корисну модель UA 131442 U, G01N 3/56. Стенд для дослідження матеріалів на тертя та знос / Т.О. Васильченко, І.А. Шевченко, Ю.Г. Коюрін, О.М. Гречаний. – № u201808516; заявл. 06.08.2018; опубл. 10.01.2019, Бюл. №1, 2019р.
36. Кобрін Ю. Г. Дослідження зносостійкості матеріалу молотків дробарок в абразивному середовищі / Ю. Г. Кобрін, І. А. Шевченко, Л. Ю. Осіпова. // Металургія. – 2017. – №2. – С. 122–125.
37. Венцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчарова. – Москва: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит., 1988. – 480 с.
38. Металлы. Метод испытания на абразивное изнашивание при трении о закрепленные абразивные частицы: ГОСТ 17367-71. – [Чинний від 1973-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 5 с.
39. Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытания материалов на износостойкость при трении о нежёстко закрепленные абразивные частицы: ГОСТ 23.208-79. – [Чинний від 1981-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 4 с. (Межгосударственный стандарт).

## ДОДАТОК А

Износ била отечественных роторных дробилок, изготовленных из стали марки 110Г13Л  
( $C_{\text{вн}} = 5$  кг/г,  $C_{\text{вн}} = 1,7$  кг/г)

Модель дробилки	Характеристика горной породы				Режим работы дробилки						Износ била в г/м <sup>3</sup>		
	Наименование	Месторождение	$M_{\text{вн}}$ в г/г	$M_{\text{вн}}$ в г/г	$V_{\text{р.н}}$ м/с	$S_{\text{н}}$ в мм	$S_{\text{в}}$ в мм	$S_{\text{в}}$ в мм	$Q_{\text{дроб}}$ в т/ч	$t$	$W_{\text{н}}$	$W_{\text{в}}$	$K_{\text{вн}}$
СМД-66	Известняк	Корюковский карьер	8-20	32-86	26,6	250	240	—	600	2,86	0,4	1,8	0,2
СМД-75	Известняк	Корюковский карьер	8-20	32-86	30,8	110	80	50	250	2,83	3,0	10,1	0,3
СМД-87	Титано-кагнетитовая руда (беззая)	Сарбайский рудник	360	1290	30,0	400	120	—	1100	8,10	$3,7 \pm 2,1^*$	—	—
СМД-87	Железная руда	Стайленинский карьер Курской магнитной аномалии	140	420	30,0	400	120	—	1200	12,20	$1,4 \pm 1,1^*$	—	—

\* Во данных испытаний, проведенных Институтом горного дела Институт (г. Свердловск) на Косевопольском руднике Девон-нов обса.

## ДОДАТОК Б

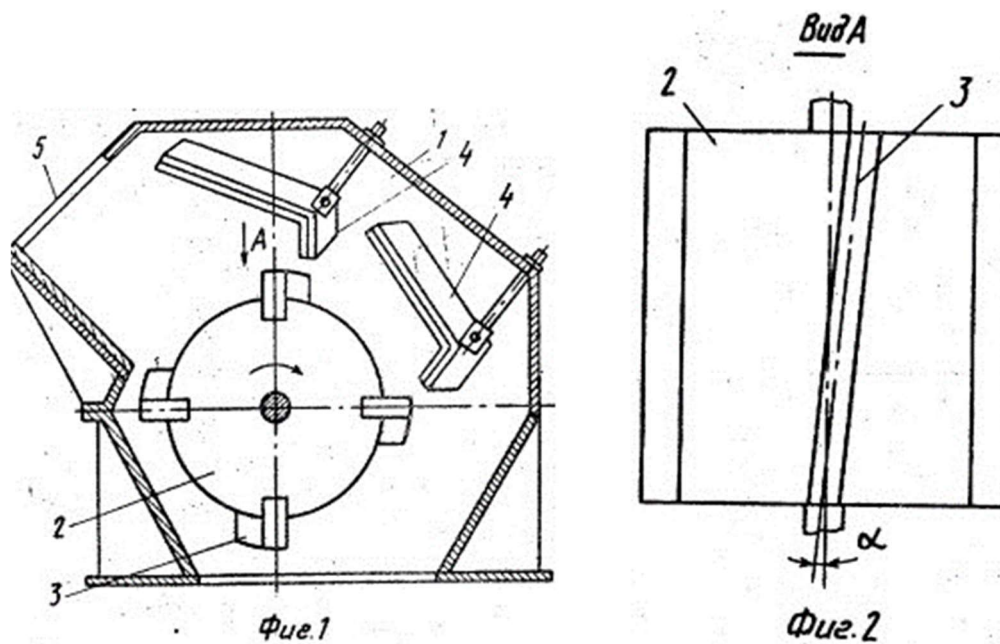


Рисунок 1.19 – Патент №1755916 Роторна дробарка

## ДОДАТОК В

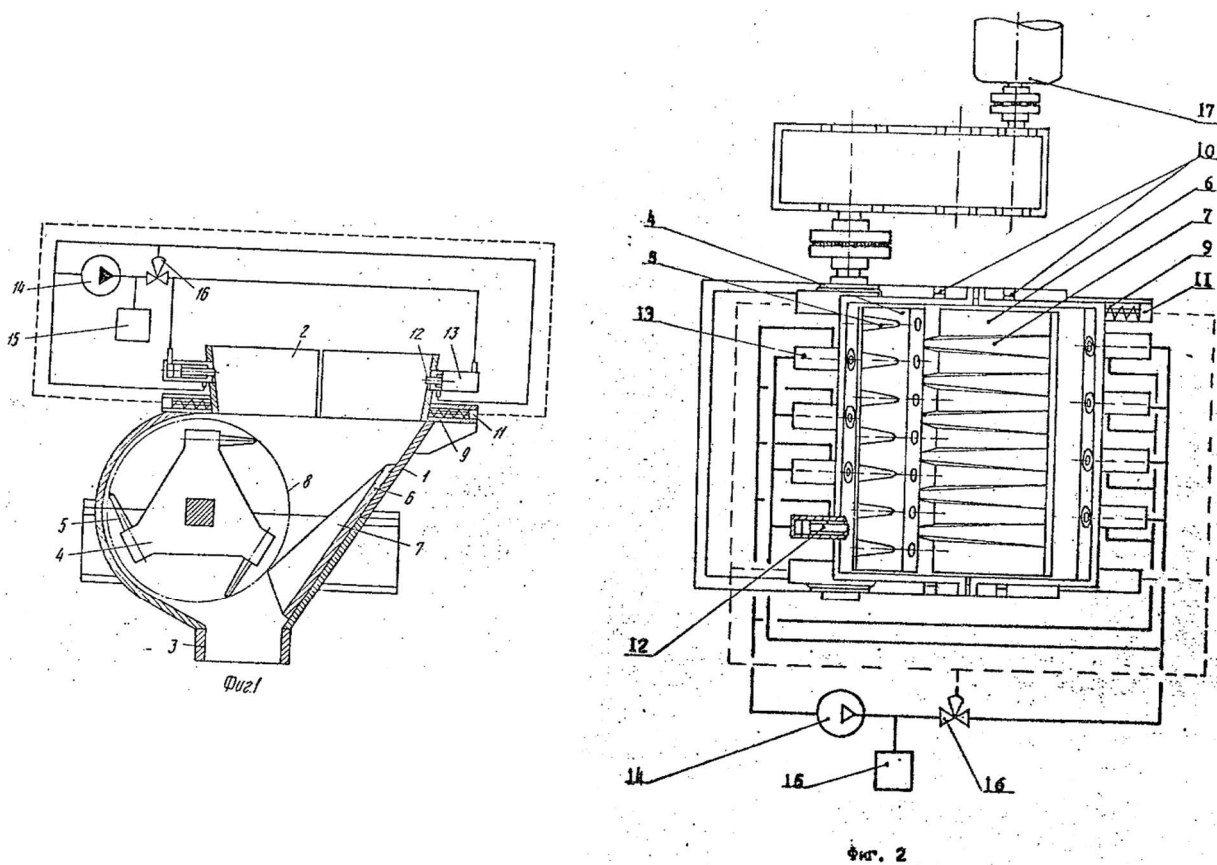


Рисунок 1.20 – Патент №1799620 Роторна дробарка



## ДОДАТОК Г

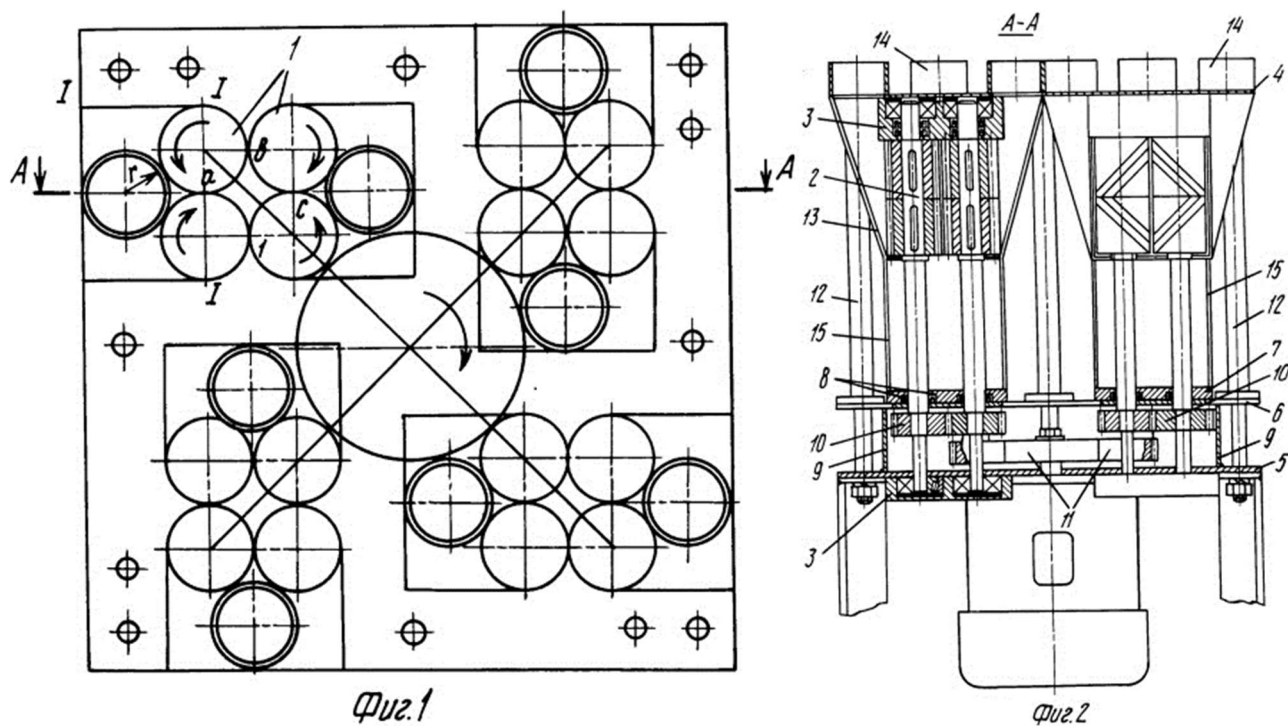


Рисунок 1.21 – Патент РФ 2091164 Роторна дробарка

## ДОДАТОК Д

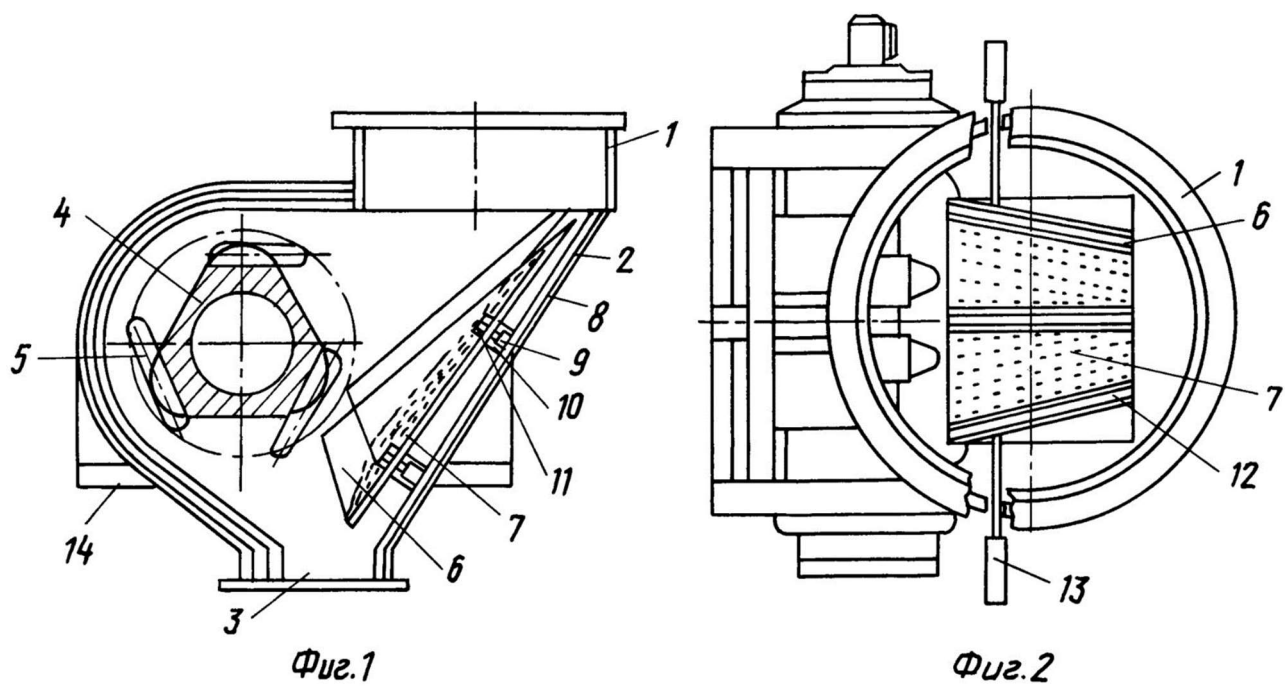


Рисунок 1.22 – Патент РФ 2205694 Роторна дробарка

## ДОДАТОК Ж

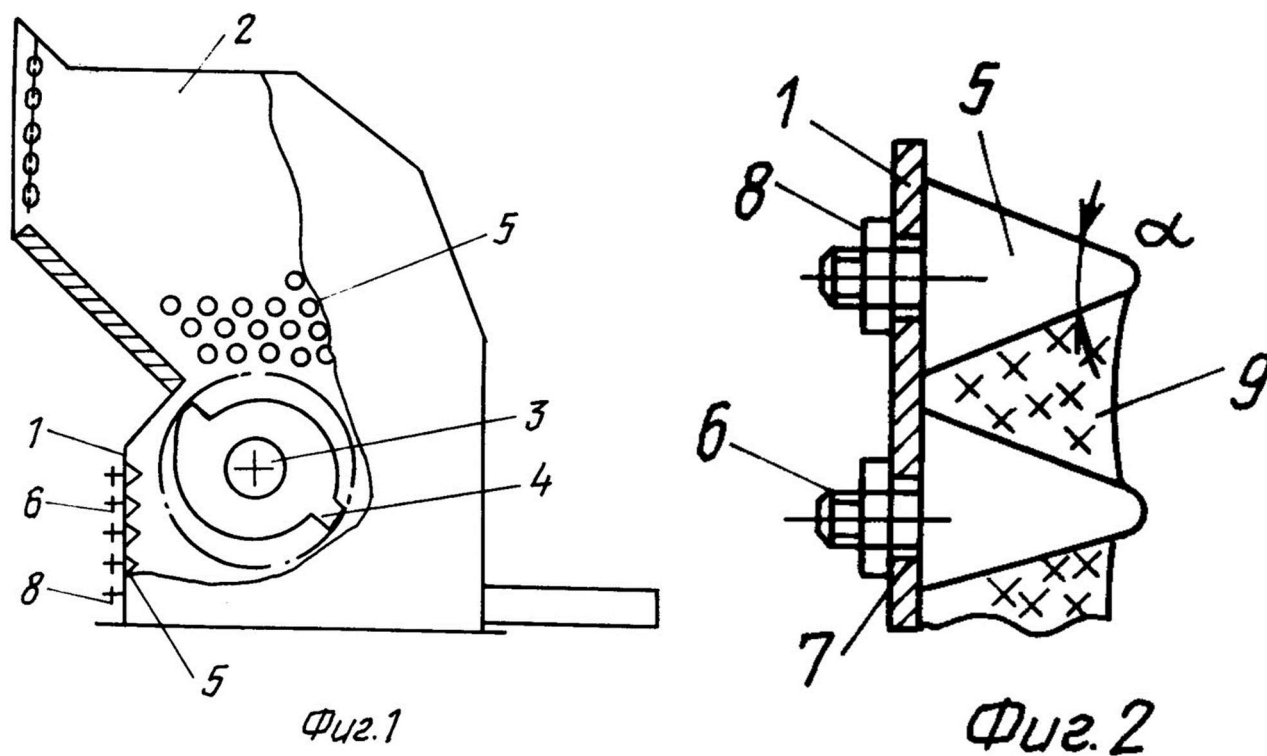


Рисунок 1.23 – Патент РФ 2223147 Роторна дробарка

## ДОДАТОК К

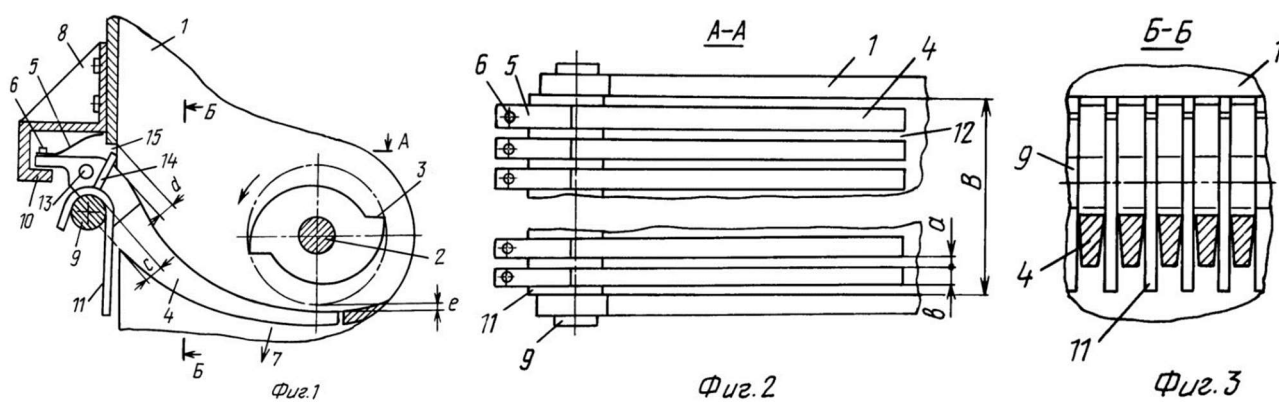


Рисунок 1.24 – Патент RU 2252075 Роторна дробарка

ДОДАТОК М

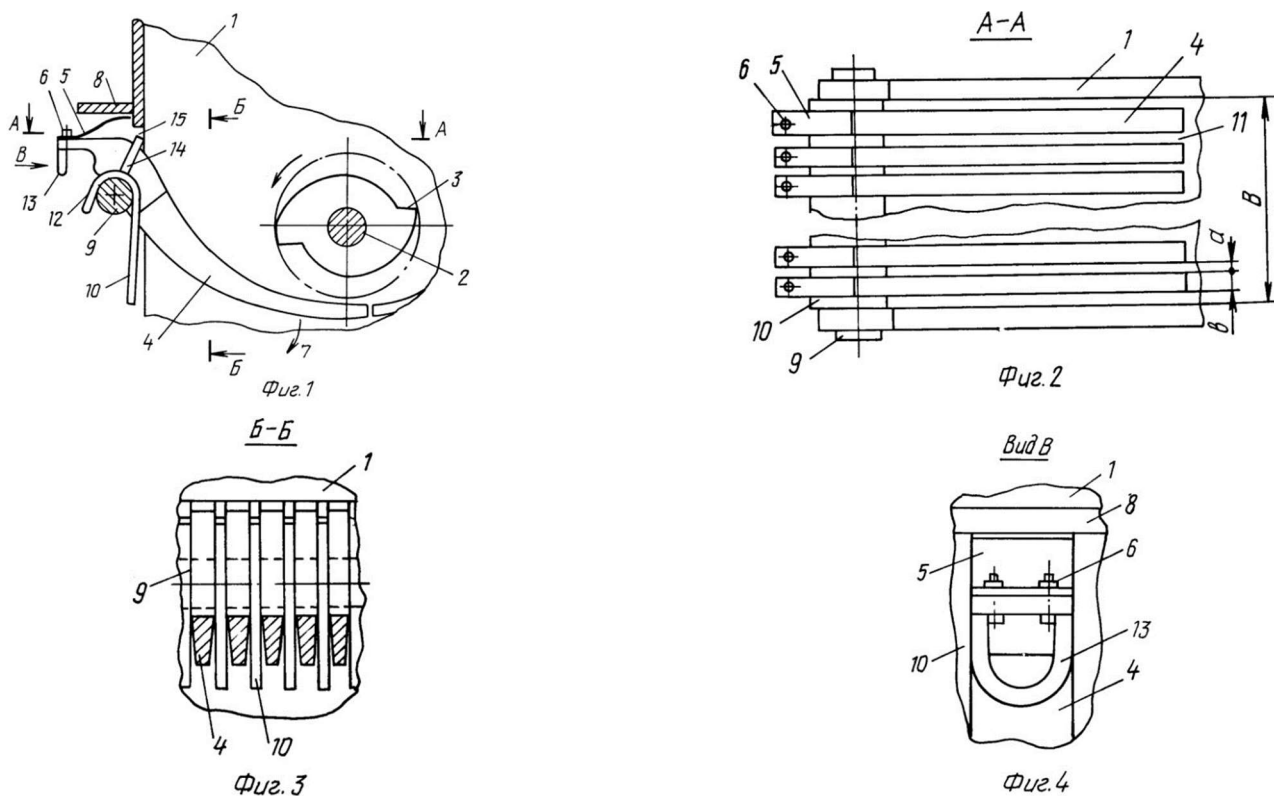


Рисунок 1.25 – Патент RU 2229339 Роторна дробарка

ДОДАТОК Н

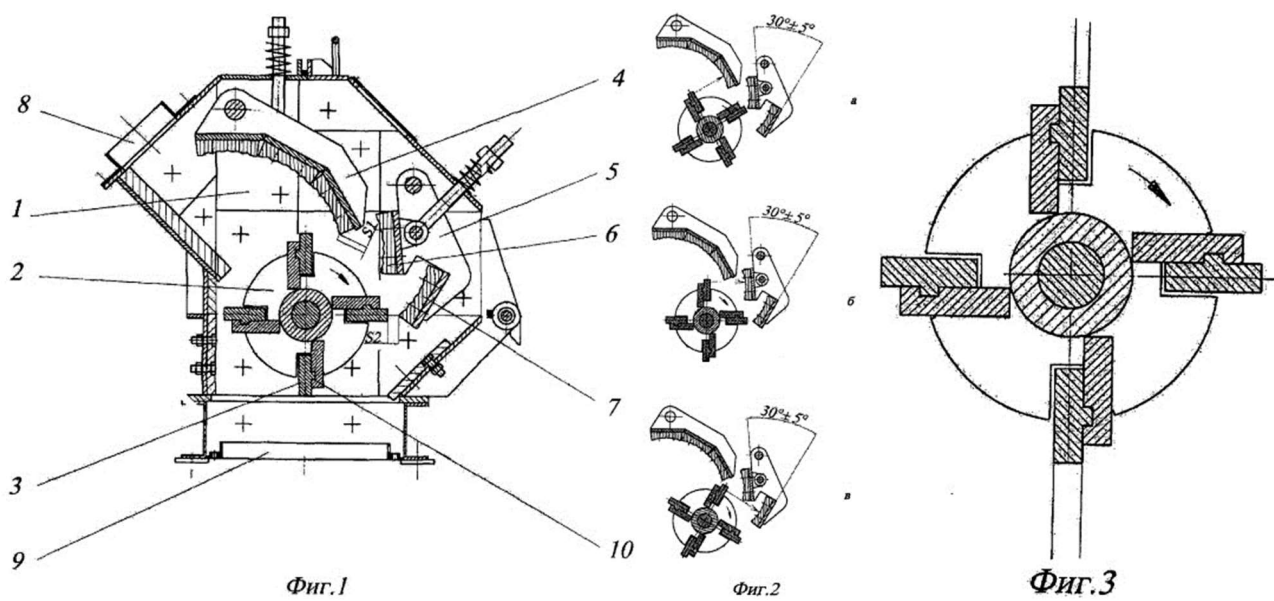


Рисунок 1.26 – Патент RU 2396121 Роторна дробарка

## ДОДАТОК С

Категории абразивности горных пород по классификации, предложенной ВНИИСтройдормашем

Класс	Категория	Показатели абразивности в г/т		Горные породы и материалы
		$H_{30}$	$H_{50}$	
Неабразивные	0	Менее 1	Менее 4	—
Малоабразивные	I	1—2	4—8	Очень малоабразивные известняки, сланцы, аргиллиты, алевролиты Малоабразивные известняки Известняки ниже средней абразивности, мрамор
	II	2—4	8—16	
	III	4—8	16—32	
Средней абразивности	IV	8—16	32—65	Кирпич красный, кирпич силикатный, известняки средней абразивности, слабые песчаники Известняки выше средней абразивности, песчаники средней абразивности Известняки высокой абразивности, песчаники выше средней абразивности, железные руды малой абразивности
	V	16—32	65—130	
	VI	32—65	130—250	
Высокой абразивности	VII	65—130	250—500	Известняки очень высокой абразивности, руды средней абразивности, базальт Граниты, прочные песчаники, руды прочные Граниты, прочные песчаники, кварциты, гравий изверженных пород, руды
	VIII	130—250	500—1000	
	IX	250—500	1000—2000	
Очень высокой абразивности	X	Более 500	Более 2000	Очень прочные руды, кварциты, шлаки конвертерные, электропечные

## ДОДІТОК П

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
**Інженерний інститут**

---



## МАТЕРІАЛИ XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів

*Конференція присвячена  
60-річчю від дня заснування  
ЗФ ДМЕТІ – ЗІІ – ЗДІА*

	Дослідження та вдосконалення технології прокатування штаб на неперервному стані горячого прокатування 1680 в умовах ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» з метою підвищення якості продукції	
42	Бондаренко О.О., магістр гр. МЕТ-18-3 мз, Бондаренко Ю.В., доц., канд. техн. наук Оцінка впливу фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів на якість правки листового прокату	39
43	Дворецький В.М., магістр гр. МЕТ-18-3 мз, Бондаренко Ю.В., доц., канд. техн. наук Аналіз впливу напружень та деформацій в елементах пресового обладнання	40
44	Сабіров В.Г., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук Отримання пористих структур інтерметалідних Ni-Al сплавів методом термохімічного пресування	41
45	Черняк С.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук Особливості течії та напруженого стану металу при гарячій прокатці низьколегованих сталей	42
46	Пушич Ю.О., магістрант гр. МЕТ-18-3мз, Явтушенко О.В., доцент, док. техн. наук Технологічні та конструктивні методи зниження технологічного зусилля при розподільних операціях листового штампування	42
47	Кустря Є.І., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Аналіз експлуатаційних умов роботи обвідних роликів на станах холодної прокатки	43
48	Кідалов В.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Удосконалення процесу прокатки на реверсивних станах	44
49	Соловійова Д.В., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Аналіз якості холоднокатних штаб після дресування зі змащуванням та без змащування	45
50	Гудіна К.А., магістр гр. 8.1369-ОМТ, Лавров М.В., ст. гр. ОТ-16-1/9, Проценко В.М., доцент, канд. техн. наук Розрахунок оптимальної продуктивності неперервного стана холодної прокатки в залежності від швидкості прокатки і маси рулону штаби, що прокатується	47
51	Хомицький А.С., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вдосконалення процесу подрібнення матеріалів в молоткових дробарках	48
52	Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вибір та обґрунтування розрахункових схем щоккових дробарок	48
53	Сумін М.А., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Теоретичний аналіз процесу дроблення крихких матеріалів в одновалковій дробарці	49
54	Німаніхін С.В., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Знос та відновлення елементів роторних дробарок	50
55	Смородін В. Р., ст. гр. 8.1339, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Зміна властивостей об'єкту обробки в умовах знакозмінних навантажень	51
56	Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Взаємозв'язок гранулометричних характеристик матеріалів і теорій дроблення	52
57	Сумін М.А., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вплив коефіцієнта тертя в одновалковій дробарці на мінімальний розмір зазору для захоплення матеріалу	53
58	Хомицький А.С.(1), ст. гр. МБ-18мз, Кобрін Ю.Г.(2), аспірант кафедри МАМВ Необхідність дроблення матеріалів в молоткових дробарках	54
59	Німаніхін С.В.(1), ст. гр. МБ-18мз, Кобрін Ю.Г.(2), аспірант кафедри МАМВ Огляд конструкцій роторних дробарок	55
60	Онопрійко І.А., ст. гр. 8.1339, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Методи аналітичної інтерпретації процесу подрібнення	56
61	Сосновський В.М., ст. гр. МБ-18-1мд, Таратута К.В., доцент, канд. техн. наук Визначення навантажувальної здатності вузлів та деталей приводу стана холодної прокатки	57

Німаніхін С.В.<sup>(1)</sup>, ст. гр. МБ-18мз,  
Кобрін Ю.Г.<sup>(2)</sup>, аспірант кафедри МАМВ

## ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ РОТОРНИХ ДРОБАРОК

<sup>(1)</sup> Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра МО

<sup>(2)</sup> Національна металургійна академія України, кафедра МАМВ

Роторні дробарки в основному застосовують при виробництві будівельних матеріалів та в металургії.

Нижче детально представлено роторні дробарки, які випробувані в експлуатації та що застосовуються в промисловості можна класифікувати за технологічними: це крупність прийнятих шматків, властивості оброблюваного матеріалу, вимоги, що пред'являються до продукту дроблення; та конструктивними ознаками.

За конструктивними ознаками роторні дробарки класифікуються: по числу роторів, за способом розвантаження готового продукту, за характером виконання відбивних органів, за способом підвіски відбивних органів, з реверсування обертання ротора, за формою лінії профілю відбивної поверхні, за характером відбивної поверхні.

Багатороторні дробарки поділяються – по числу ступенів дроблення: одноступінчасті, в яких потік матеріалу надходить одночасно на всі ротори, багатоступінчасті, по окремоті камер дроблення: з об'єднаними камерами дроблення, з роздільними камерами дроблення.

Дробарки з колосниковими ґратами по розташуванню колосників розрізняють: з вертикальними і горизонтальними колосниками.

Ротори класифікуються за такими ознаками: по умовному числа бив: двох-, трьох- і т. д. до дванадцяти-бильних. Відомі й однобильні ротори. Найбільш споживані двох-, трьох-, чотирьох- і шестибильні.

За конструкцією бив і способам їх кріплення існує велика кількість виконань, які потребують самостійної класифікації: по кількості робочих поверхонь, за наявності знімного билотримача, біла що закріплюються безпосередньо на корпусі ротора, за способом кріплення, у напрямку руху біла при його монтажі.

Корпуси роторних дробарок можна класифікувати за такими основними ознаками: за характером поділу на вузли, на станину і верхню частину, що складається з окремих елементів, корпус який також поділяється на кілька вузлів, по доступу до робочих органів, по розташуванню площини приймального отвори, за способом виготовлення.

За способом підтримання сталості ширини вихідної щілини розрізняють такі конструкції відбивних органів: з шарнірною підвіскою, з противагою, з поворотною пружиною і з запобіжним пристроєм, що включає руйнується змінне деталь.

Відбивні плити з шарнірною підвіскою виготовляються суцільнозварними, звареними із захисною футеровкою робочої поверхні, суцільнолитими з зносостійкого сталі і комбіновані.

Відбивні колосникові решітки виконуються суцільнолитими, складальними з литих колосників, які стягуються стяжками, складальними з колосників, виконаних з прокату і вставлених в спеціальну раму. Поліпшення будь-якого з цих елементів гарантує покращення показників дробарки.

### Література:

1. Роторные дробилки / В. А.Бауман, В. А. Стрельцов, А. И. Косарев, А. И. Слуцкер. – Москва: Машиностроение, 1973. – 272 с.
2. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация) / В. П. Барабашкин. – Москва: Машгиз, 1963. – 245 с.

## ДОДІТОК Р

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний університет  
**Інженерний інститут**

---



## МАТЕРІАЛИ XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів

*Конференція присвячена  
60-річчю від дня заснування  
ЗФ ДМЕТІ – ЗІІ – ЗДІА*



	Дослідження та вдосконалення технології прокатування штаб на неперервному стані горячого прокатування 1680 в умовах ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» з метою підвищення якості продукції	
42	Бондаренко О.О., магістр гр. МЕТ-18-3 мз, Бондаренко Ю.В., доц., канд. техн. наук Оцінка впливу фізико-механічних властивостей та геометричних параметрів матеріалів на якість правки листового прокату	39
43	Дворецький В.М., магістр гр. МЕТ-18-3 мз, Бондаренко Ю.В., доц., канд. техн. наук Аналіз впливу напружень та деформацій в елементах пресового обладнання	40
44	Сабіров В.Г., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук Отримання пористих структур інтерметалідних Ni-Al сплавів методом термохімічного пресування	41
45	Черняк С.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Белоконь Ю.О., доцент, канд. техн. наук Особливості течії та напруженого стану металу при гарячій прокатці низьколегованих сталей	42
46	Пушич Ю.О., магістрант гр. МЕТ-18-3мз, Явтушенко О.В., доцент, док. техн. наук Технологічні та конструктивні методи зниження технологічного зусилля при розподільних операціях листового штампування	42
47	Кустря Є.І., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Аналіз експлуатаційних умов роботи обвідних роликів на станах холодної прокатки	43
48	Кідалов В.С., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Удосконалення процесу прокатки на реверсивних станах	44
49	Соловійова Д.В., магістрант гр. МЕТ-18-3мд, Кругляк Д.О., доцент, канд. техн. наук Аналіз якості холоднокатних штаб після дресування зі змащуванням та без змащування	45
50	Гудіна К.А., магістр гр. 8.1369-ОМТ, Лавров М.В., ст. гр. ОТ-16-1/9, Проценко В.М., доцент, канд. техн. наук Розрахунок оптимальної продуктивності неперервного стана холодної прокатки в залежності від швидкості прокатки і маси рулону штаби, що прокатується	47
51	Хомицький А.С., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вдосконалення процесу подрібнення матеріалів в молоткових дробарках	48
52	Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вибір та обґрунтування розрахункових схем щоккових дробарок	48
53	Сумін М.А., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Теоретичний аналіз процесу дроблення крихких матеріалів в одновалковій дробарці	49
54	Німаніхін С.В., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Знос та відновлення елементів роторних дробарок	50
55	Смородін В. Р., ст. гр. 8.1339, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Зміна властивостей об'єкту обробки в умовах знакозмінних навантажень	51
56	Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Взаємозв'язок гранулометричних характеристик матеріалів і теорій дроблення	52
57	Сумін М.А., ст. гр. МБ-18мз, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Вплив коефіцієнта тертя в одновалковій дробарці на мінімальний розмір зазору для захоплення матеріалу	53
58	Хомицький А.С.(1), ст. гр. МБ-18мз, Кобрін Ю.Г.(2), аспірант кафедри МАМВ Необхідність дроблення матеріалів в молоткових дробарках	54
59	Німаніхін С.В.(1), ст. гр. МБ-18мз, Кобрін Ю.Г.(2), аспірант кафедри МАМВ Огляд конструкцій роторних дробарок	55
60	Онопрійко І.А., ст. гр. 8.1339, Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук Методи аналітичної інтерпретації процесу подрібнення	56
61	Сосновський В.М., ст. гр. МБ-18-1мд, Таратута К.В., доцент, канд. техн. наук Визначення навантажувальної здатності вузлів та деталей приводу стана холодної прокатки	57

Німаніхін С.В., ст. гр. МБ-18мз,  
Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

## **ЗНОС ТА ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ РОТОРНИХ ДРОБАРОК**

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра МО

Роторні дробарки в основному застосовують при виробництві будівельних матеріалів та в металургії. В роторній дробарці (Рисунок 1) руйнування відбувається за допомогою ударної дії бил, які жорстко закріплено на роторі по матеріалу, а також зіткнень частинок подрібнюваної маси між собою. Для найбільш ефективного руйнування матеріалу що подрібнюється, окружна швидкість ротора може досягати до 80м/с.

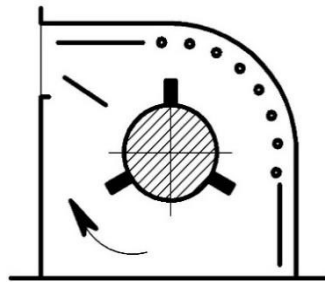


Рисунок 1 – Схема роторної дробарки

Основні вузли роторних дробарок: ротор, відбивні органи, корпус, зворотно-буферні пристрої відбивних органів.

Важливо знати особливості зносу її робочих органів, вплив зносу на показники процесу дроблення і працездатність машини.

Знос робочих органів істотно змінює показники роботи роторних дробарок, тому для підтримки роторних дробарок в працездатному стані після кожних двох змін роботи відновлювалися біла і футерування

Одним з перспективних напрямів поліпшення працездатності роторних дробарок є відновлення зношених елементів, а саме – бил.

В результаті наплавлення відновлюється початковий обрис біла під заданим кутом між його робочою і зовнішньою поверхнями.

За повідомленнями така наплавка забезпечує рівномірний сплав по всьому перетину і однакову масу бив, що виключає необхідність у додатковому балансуванні.

Відновлення зношеного біла – це не тільки повернення працездатності деталі, але і підтримка високих технологічних показників машини. Вдаючись до реставрації, враховують рентабельність відновлення і перш за все ефективність роботи дробарки і всього підприємства в цілому.

### Література:

1. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация) / В. П. Барабашкин. – Москва: Недра, 1973. – 194 с
2. Роторные дробилки / В. А.Бауман, В. А. Стрельцов, А. И. Косарев, А. И. Слуцкер. – Москва: Машиностроение, 1973. – 272 с.
3. Клушанцев Б. В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Фишман М. А. Дробилки ударного действия / М. А. Фишман. – Москва: Госгортехиздат, 1960. – 200 с.