

Бакуменко Ганна Костянтинівна

Магістерська робота

**Дослідження шляхів підвищення ефективності експлуатації
молоткових дробарок ударної дії**

Керівник роботи

проф., д.т.н. Громадський А.С.

ВСТУП

Видобуток та переробка твердих корисних копалин – одна з найстаріших галузей виробничої діяльності людини. З прадавніх часів людство намагається відшукувати, розробляти та використовувати для своїх різноманітних потреб металеві руди, хімічну сировину та будівельні матеріали. Без мінеральної сировини різного призначення неможливий розвиток промисловості, будівництва та сільськогосподарства нашого технологічного суспільства [1].

Більша частина гірничих порід, що розробляються підземним та відкритим способами видобутку, є достатньо міцними і потребують попереднього відділення від скельного масиву за допомогою методу вибухового руйнування. Лише потім утворену вибухом суміш шматків різноманітного розміру (від пилоподібних часток до негабаритів величиною у 1000 мм і більше) завантажують на транспортні засоби і відправляють на подальшу переробку. Остання, як правило, включає операції зменшення розмірів частинок видобутої сировини та розділення їх на класи за цими розмірами. Для нерудної сировини це потрібно, наприклад, з точки зору виробництва різного роду будівельних матеріалів, а для рудної – для підготовки її до операцій збагачення, під час яких гірничу масу звільняється від частки порожньої породи, що входить до її складу, з метою підвищення вмісту корисного компонента (компонентів) і забезпечення найкращих умов її подальшого металургійного переділу.

Операції дроблення і подрібнення мінеральної сировини здійснюються в основному механічними методами і потребують дуже значних витрат енергії на руйнування матеріалу. І чим він міцніший, тим більше енергії на це потрібно. А в умовах поступового вичерпання багатих рудних покладів і необхідності переходу до освоєння родовищ бідних руд ця проблема стає гострішою, адже бідні руди, як правило, міцніші за багаті (принаймні, залізні). Що стосується промисловості будівельних матеріалів, то вона має справу в основному з матеріалами середньої та високої міцності. Витрати енергії на подрібнення підвищуються й у зв'язку з розвитком процесів порошкової металургії (наприклад, виробництва твердих сплавів,

що знаходять широке використання у різних галузях промисловості, у тому числі гірничорудній – для створення високоефективного та зносостійкого бурового інструменту). Достатньо сказати, що частка загальних (капітальних, експлуатаційних та енергетичних) витрат на подрібнення гірничої маси на більшості підприємств, що застосовують ці технологічні процеси, складає більше половини усіх витрат на виробництво [2-4].

З огляду на це, задача зниження собівартості процесів дроблення та подрібнення мінеральної сировини за рахунок підвищення ефективності експлуатації відповідного механічного обладнання представляється надзвичайно важливою.

Останні десятиліття розвитку гірничої та гірничо-переробної промисловості характеризуються постійним розширенням використання дробильного та подрібнювального обладнання ударного принципу дії. Устаткування такого типу забезпечує більшу ефективність операції руйнування часток гірничих порід у порівнянні з механізмами, що здійснюють її шляхом роздавлювання шматків. Воно відрізняється суттєво вищим ступенем подрібнення та меншими питомими витратами енергії на руйнування у розрахунку на одиницю маси машини. Вони займають менші виробничі площі і здатні перероблювати найрізноманітніші матеріали, як тверді, так і м'які, а також в'язкі з підвищеним вмістом глини та вологи, що в установках інших конструкційних типів лише пресуються і руйнуються дуже погано [1-12].

Проте ударний спосіб руйнування шматків гірничих порід, особливо міцних та високоабразивних, супроводжується швидким зношенням робочих елементів установок, які безпосередньо взаємодіють з матеріалом. Це вимагає підвищених витрат на постачання відповідних запасних частин, потребує значної кількості технічних обслуговувань обладнання. Тому дослідження робочих процесів дробильного обладнання ударної дії, спрямовані на підвищення ефективності подрібнення мінеральної сировини та скорочення сумарних витрат на цей процес, є важливим науково-технічним завданням, що відповідає нагальним потребам гірничого та гірничозбагачувального виробництва.

З огляду на це, тема представленої магістерської роботи, присвяченої до-

слідженню шляхів підвищення ефективності експлуатації дробарок ударної дії молоткового типу, безсумнівно є актуальною.

Мета роботи – підвищення ефективності роботи молоткової дробарки за рахунок удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів її робочого органу.

Об'єкт дослідження – технологічний процес ударного руйнування мінеральної сировини у молоткових дробарках.

Предмет дослідження – молоткові дробарки ударної дії.

Наукове положення – розроблені у роботі рекомендації дають можливість забезпечення ефективного ударного руйнування гірничої маси та підвищення твердості поверхневого шару робочих поверхонь молотків до 600-1000 НВ, збільшення його глибини до 20 мм та зростання довговічності молотків не менше, ніж на 40%;

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Загальні зауваження

Під час підготовки мінеральної сировини до операцій збагачення головне місце займають технологічні процеси розкриття мінералів, в саме: дроблення, подрібнення та класифікації. Зменшення розмірів шматків гірничої маси необхідно для відділення часток корисного компоненту та порожньої породи. Чим дрібніші вкраплення корисного компоненту у руді, тим більша ступінь подрібнення матеріалу потрібна. А розділення подрібненої сировини на класи крупності здійснюється для полегшення реалізації збагачувальних операцій, адже різниця частинок збагачуваного матеріалу у розмірах значно погіршує якість сепарації. Чим вужче гранулометричний склад матеріалу, що поступає на операції збагачення, тим чіткіше можна розділити його на корисний компонент і порожню породу. Це правило діє для будь-яких способів збагачення – гравітаційного, флотаційного, магнітного, електричного та багатьох інших [1-6].

Процеси дроблення, подрібнення та класифікації (особливо перші два) є надзвичайно енергоємними і вартісними. Загальні витрати на них можуть досягати 70% усіх витрат на збагачення [10]. Наприклад, дроблення та подрібнення гірничої маси здійснюється практично виключно механічними методами, коли руйнування шматків гірничої маси забезпечується за рахунок впливу на них навантажень різного роду – роздавлювання, розколювання, зламу, зрізання, стирання, удару [1]. Усі вони потребують значної енергії на подолання опору мінеральної сировини.

За таких обставин задачі постійного удосконалення дробильно-подрібнювального обладнання, пошук і впровадження найбільш ефективних та економічних способів подрібнення, розробка найкращих способів і схем експлуатації дробарок і млинів різних типів і конструкцій є дуже важливими й актуальними і весь час повинні знаходитися у центрі уваги науковців, проектантів, машинобудівників та виробничників гірничої галузі.

1.2 Основні технологічні показники процесів дроблення та подрібнення гірничої маси

У більшості випадків ступінь дроблення чи подрібнення – це відношення максимального розміру шматків вихідної сировини (живлення) до максимального розміру готового (дробленого) продукту. Можливі також відношення номінальних чи середніх розмірів вказаних вище продуктів. Ступінь дроблення, яку забезпечує те чи інше дробильно-помольне обладнання, визначально впливає на його продуктивність та енергетичні витрати [1-12].

Якщо мова йде про металеві руди, то сировина, що видається з шахт і кар'єрів, може мати розмір шматків до 1200 мм і більше (принаймні, залізна руда). А продукт, придатний для більшості операцій збагачення, повинен бути не крупніше декількох міліметрів, а у багатьох випадках – значно дрібніший. Таким чином величина загального (сумарного) ступеня дроблення мінеральної сировини перед її збагаченням може досягати тисячі і більше. Тому зменшення величини шматків гірничої маси зазвичай здійснюється у декілька стадій.

З точки зору механізму руйнування матеріалу операції дроблення і подрібнення практично аналогічні. Існує умовна межа між ними: зменшення розмірів шматків приблизно до 5 мм вважається дробленням, а все, що дрібніше – подрібненням (помелом). Операції дроблення виконуються у три стадії (крупне дроблення – до 100 мм; середнє дроблення – до 40 мм; дрібне дроблення – до 5-10 мм), а подрібнення – у три (грубе подрібнення – до 2 мм; тонке подрібнення – до 0,5 мм і менше) [1].

Технологічна ефективність процесів дроблення та подрібнювання визначається відношенням маси знову утвореного розрахункового класу крупності $-d$ до маси фракції з розмірами шматків більше d у живленні (яка потребує додаткового дроблення до класу $-d$) [10].

На практиці користуються наступними показниками енергетичних витрат під час дроблення та подрібнення мінеральної сировини [10]:

- питомою витратою електроенергії на 1 т переробленої руди:

$$E_o = \frac{N_o}{Q_o}, \text{ кВт}\cdot\text{г/т}, \quad (1.1)$$

де N_o – потужність, споживана електродвигуном дробарки, кВт; Q_o – продуктивність дробарки за живленням, т/г;

- питомою витратою електроенергії на 1 т знову утвореного розрахункового класу крупності $-d$:

$$E_d = \frac{N_o}{Q_o(\beta_d - \alpha_d)}, \text{ кВт}\cdot\text{г/т}, \quad (1.2)$$

де α_d і β_d – вміст розрахункового класу крупності $-d$ відповідно у живленні і готовому продукті дроблення (подрібнення), частки одиниці; d – розмір розрахункового класу крупності, мм;

- енергетичною ефективністю процесу дроблення l_d (т/кВт·г), що дорівнює масі знову утвореного розрахункового класу крупності на 1 кВт·г витраченої електроенергії:

$$l_d = \frac{1}{E_d} = \frac{Q(\beta_d - \alpha_d)}{N_o}. \quad (1.3)$$

1.3 Короткий огляд існуючого дробильно-помольного обладнання

Для операцій дроблення використовуються дробарки різних принципів роботи, а для подрібнення (помелу) – млини.

Дробарки забезпечують дроблення руд і нерудних матеріалів з тимчасовим опором стисканню до 250 МПа (у деяких випадках до 350 МПа) і розрізняються в основному принципом дії та способом руйнування мінеральної сировини, тобто використанням певних навантажень на шматки матеріалу. У залежності від цього існують такі класи дробильного обладнання:

- щоківі дробарки, в яких матеріал дробиться у робочому просторі між щоками в основному за рахунок раздавлювання, а також розколювання та зламу;
- конусні дробарки, в яких матеріал дробиться у робочому просторі між двома усіченими конусами за рахунок раздавлювання, розколювання, зламу, зрі-

зання та стирання;

- валкові дробарки, в яких матеріал дробиться у робочому просторі між двома обертовими гладкими або зубчастими валками за рахунок роздавлювання, розколювання та зламу;

- дробарки ударної дії, в яких матеріал дробиться у робочому просторі зі швидко обертовими робочими органами в основному за рахунок ударних навантажень.

Щоківі дробарки мають два кінематичних різновиди: з простим рухом рухомої щоки (ЩДП) та зі складним рухом рухомої щоки (ЩДС).

На рис. 1.1 показана принципова схема щоківі дробарки з простим рухом щоки [10]. Рама дробарки встановлюється на масивному фундаменті. Робоча зона установки утворюється передньою стінкою 1, яка виконує роль нерухомої щоки, і рухомою щокою 3, підвішеною на осі 4. Обидві щоки захищені від абразивного зношення футерівкою у вигляді змінних плит 2 зі зносостійкої сталі. Вісь

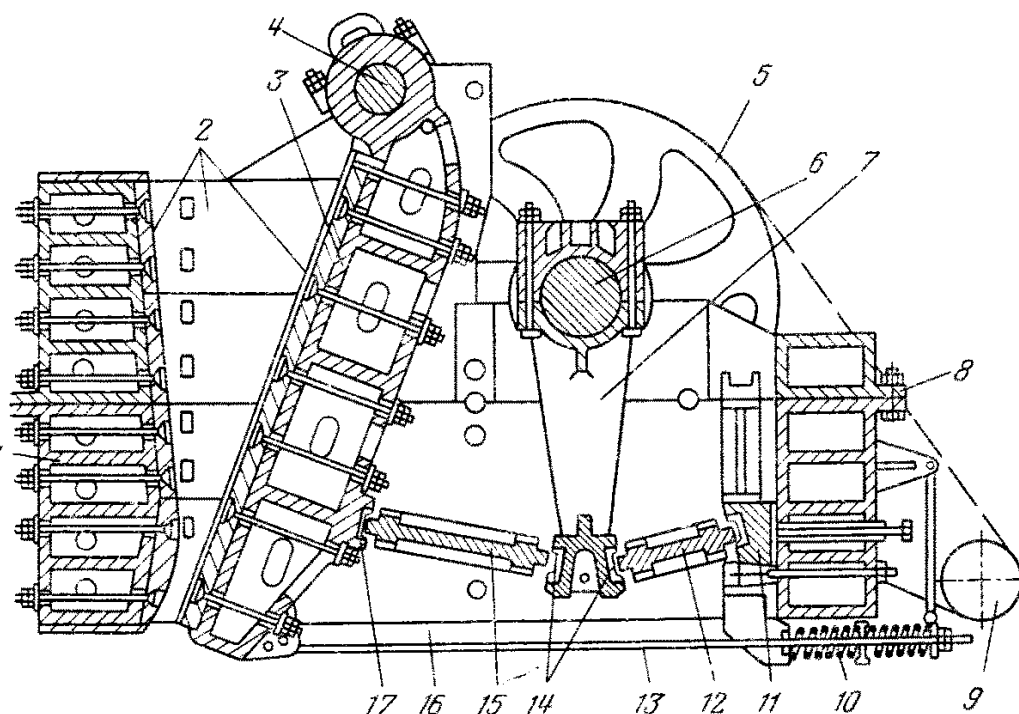


Рисунок 1.1 – Принципова схема щоківі дробарки з простим рухом щоки:

- 1 – передня стінка; 2 – змінні плити зі зносостійкої сталі; 3 – рухома щока;
- 4 – вісь; 5 – маховик; 6 – вал; 7 – головка шатуна; 8 – задня стінка;
- 9 – електродвигун; 10 – буферна пружина; 11 – упор; 12, 15 – розпірні плити; 13 – тяга; 14, 17 – вкладиші; 16 – бічна стінка

встановлена у підшипникових вузлах між бічними стінками 16 дробарки. Подібним чином у корінних підшипниках закріплений головний вал 6 зі шківом клинопасової передачі та маховиком 5. На ексцентричній середній частині валу закріплена головка шатуна 7. Нижня частина шатуна за допомогою розпирних плит 12 і 15, вкладишів 14 і 17 та упору 11 пов'язана з рухомою щокою і з задньою стінкою 8 дробарки. Крутний момент від електродвигуна 9 через клинопасову передачу передається на головний вал, а обертання останнього перетворюється за допомогою ексцентрика і шатуна на коливний рух щоки 3. У міру наближення її до нерухомої щоки щілина між ними зменшується і навпаки.

У табл. 1.1 приведені технічні характеристики щоківих дробарок з простим рухом щоки. Цифри в умовних позначеннях установок означають ширину і довжину приймального отвору у дециметрах [1].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики щоківих дробарок з простим рухом щоки

Показники	ЩДП 4х6	ЩДП 6х9	ЩДП 9х12	ЩДП 12х15	ЩДП 15х21
Розмір приймального отвору, мм: ширина В довжина L	400 600	600 900	900 1200	1200 1500	1500 2100
Ширина розвантажувальної щілини, мм	30–80	80–160	130	150	180
Продуктивність, м ³ /г	10–25	45–84	160	280	550
Розмір максимальних шматків, мм	340	510	750	1000	1200
Кут захоплення, град.	18	18–22	22	24	23
Хід щоки, мм	20	30	36	40	44
Ексцентриситет вала, мм	19	29	35	40	42
Частота обертання ексцентрикового вала, об/хв.	260	275	170	150	125
Приводний електродвигун: потужність, кВт частота обертання ротора, об/хв.	28 1450	100 1450	110 720	160 740	250 490
Маса дробарки, т	7,56	21,66	71,8	144,6	250,2

У дробарках із складним рухом щоки остання сама служить шатуном за рахунок підвіски її на ексцентриковій частині головного валу.

Щоківі дробарки мають подвійну система змащення: консистентного для вкладишів і підшипників рухомої щоки та рідинного для підшипників головного валу і головки шатуна.

Конусні дробарки у залежності від крупності перероблюваного продукту розділяються на установки для крупного дроблення (ККД), середнього дроблення (КСД) та дрібного дроблення (КМД). Принципова схема першого типу машин показана на рис.1.2.[10]. Матеріал у дробарці руйнується у камері, що утворена нерухомою конічною чашею та рухомим конусом 8 усередині неї. Рухомий конус сидить на вертикальному робочому валу, який зверху підвішений до траверси 9, а знизу вставлений у стакан ексцентрикового механізму 4, який обертається від приводного електродвигуна за допомогою конічної зубчастої передачі 5.

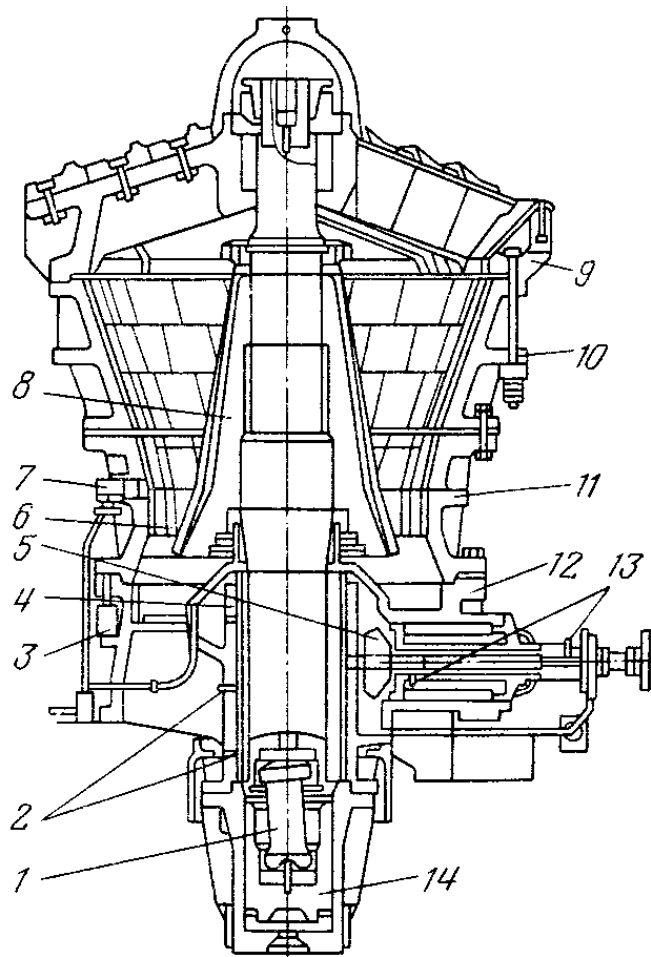


Рисунок 1.2 – Принципова схема конусної дробарки крупного дроблення:
1 – штовхач; 2, 13 – термодатчики; 3, 7 – гідродомкрати; 4 – ексцентрик;
5 – зубчасте колесо; 6 – футерівка; 8 – рухомий конус; 9 – траверса;
10 – верхня частина корпусу; 11 – середня частина корпусу; 12 – станина;
14 – плунжер гідроциліндра

Завдяки ексцентрику вісь рухомого конусу під час обертання відхиляється на так називаний кут прецесії і описує при цьому конічну поверхню. Такий коливний рух дробильного конусу викликає постійне змінення розмірів кільцевої розвантажувальної щілини між ним і нерухомою конічною чашею. Регулювання величини щілини здійснюється гідравлічним або механічним способами. У першому випадку гідравлічна опора дробильного конусу сприймається штовхачем 1.

Консистентне змащення використовується у верхньому підвісі дробильного конусу і для кілець пилового ущільнення, а рідинне – для валу-ексцентрика, його підп'ятника, приводної конічної зубчастої передачі та підшипників приводного валу.

У табл. 1.2 приведені технічні характеристики конусних дробарок крупного дроблення [1].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики конусних дробарок крупного дроблення

Параметри	ККД 500/75	ККД 900/140	ККД 1200/150	ККД 1500/160	КРД 700/75	КРД 900/100
Ширина завантажувального отвору, мм	500	900	1200	1500	700	900
Максимальний розмір шматків у живленні, мм	200	750	1000	1200	550	750
Ширина розвантажувального отвору, мм	75	140	150	180	75	100
Число коливань конуса на хвилину	200	140	120	90	135	110
Продуктивність, м³/г	200	420	680	1650	400	680
Потужність двигуна, кВт	110	250	320	2х320	250	400
Маса дробарки (без двигуна), т	112	148	240	520	145	259

Якщо у дробарок ККД усічений конус нерухомої чаші повернутий більшою підставою догори, то у дробарок середнього і дрібного дроблення КСД і КМД він розташований у зворотному напрямку, а кут нахилу утворюючої дробильного конусу суттєво більший. Завдяки цьому кільцева щілина між ними набагато менша і в нижній частині переходить у так названу паралельну зону. Конструкції дробарок КСД і КМД практично аналогічні, за виключенням того, що останні мають довшу паралельну зону. Принципова схема конусної дробарки дрібного дроблення показана на рис. 1.3 [10].

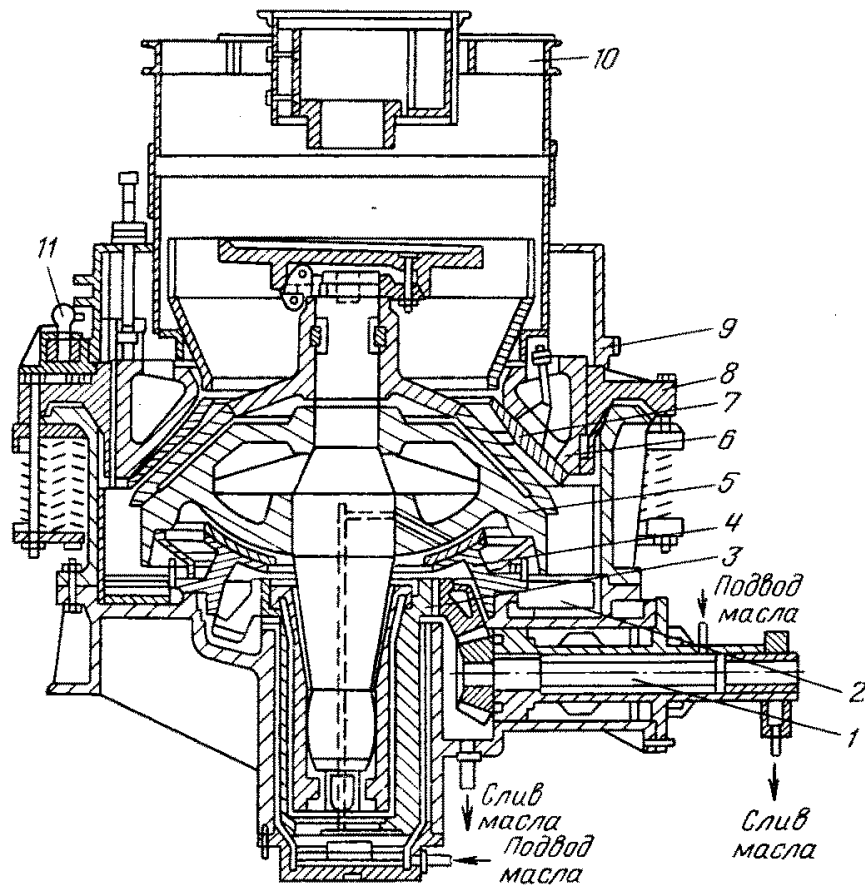


Рисунок 1.3 – Принципова схема конусної дробарки дрібного дроблення:
 1 – приводний вал; 2 – станина; 3 – ексцентриковий стакан; 4 – опорна чаша;
 5 – дробильний конус; 6 – регулювальне кільце; 7 – нерухомий конус; 8 – амортизатор; 9 – кожух; 10 – завантажувальний пристрій; 11 – механізм повороту

Циліндричний корпус установки монтується на фундаменті. Дробильний конус 5 нижньою сферичною поверхнею спирається на опорну чашу 4 зі сферичним підшипником. Нижня частина валу конуса вставлена у конічне гніздо ексцентрикового стакана 3. Крутний момент від електроприводу машини передається на ексцентрик за допомогою конічної зубчастої передачі. Завантаження дробарки матеріалом здійснюється через пристрій 10 на тарілку, закріплену на верхньому кінці валу дробильного конусу.

У результаті обертання ексцентрика конус здійснює коливні рухи, під час яких то наближається, то віддаляється від поверхні регулювального кільця 6.

Змащення кільця забезпечується консистентним мастилом, а решти вузлів дробарки – під'ятника ексцентрика, сферичного підшипника, конічних

шестірень, підшипників приводного валу – за допомогою системи рідинного циркуляційного змащення.

Валкові дробарки реалізують процес дроблення гірничої маси між двома валками, що обертаються навколо горизонтальних паралельних осей назустріч один іншому. Як видно на рис. 1.4, мінеральна сировина завантажується у дробарку через прийомну лійку зверху, затягується у зазор між валками і дробиться між їх ро-бочими поверхнями. Останні можуть бути гладкими (для середнього та дрібного дроблення твердих порід за рахунок в основному роздавлювання), рифленими або зубчастими (для дроблення крихких і м'яких порід здебільшого шляхом розколювання) [1].

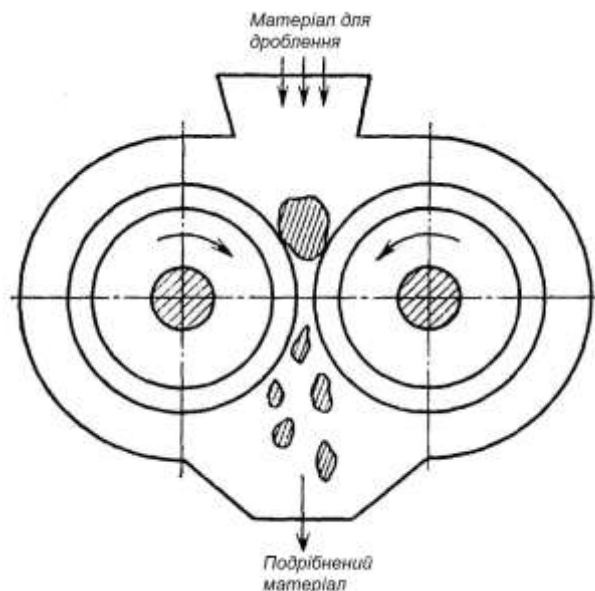


Рисунок 1.4 – Принципова схема валкової дробарки

Один з валків дробарки, як правило, закріплений на станині машини нерухомо, а інший – з можливістю зміщення відносно першого для безаварійного пропускання сторонніх предметів, що не дробляться. Поверхні чавунних валків футеруються бандажами зі зносостійких сталей. Довжина валків зазвичай у 1,5-3 рази менше їх діаметру. У протилежному випадку бандажі зношуються дуже нерівномірно по довжині.

У табл. 1.3 для прикладу приведені технічні характеристики валкових дробарок із зубчастими валками [1].

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики валкових дробарок із зубчастими валками

Показники	ДДЗ 4	ДДЗ 6	ДДЗ 10	ДДЗ 16	ДДЗ 9х9	ДДЗ 15х12
Розмір валків, мм: діаметр довжина	400 500	630 800	1000 1250	1600 2000	900 900	1500 1200
Швидкість обертання валків, об/хв.	66	50	35	41	42	40
Максимальний розмір шматків у живленні, мм	100х 200х 300	400х 500х 600	400х 600х 1000	1200х 1300х 1400	250; 360	900; 700
Максимальна крупність дробленого продукту, мм	25; 75; 125	50; 100; 150	100; 150; 300	200; 300	40; 75; 100	100; 150
Продуктивність, м ³ /г	20- 100	60- 150	125- 525	800; 1300	70; 120	до 1500
Потужність електродвигуна, кВт	13	22	40	250	40	55
Маса дробарки (без електрообладнання), т	4,7	9,9	24,3	144	13	32

У дробарках ударної дії руйнування матеріалу здійснюється за рахунок ударного впливу робочих органів з великою кінетичною енергією на шматки завантаженого в установку матеріалу. Вони знаходять використання у першу чергу для дроблення сировини низької та середньої міцності, але усе більше застосовуються і для матеріалів підвищеної твердості. Ударні дробарки забезпечують високі ступені дроблення, за рахунок чого одна така установка може замінити дві-три послідовно встановлені машини інших типів.

Основні два конструктивні різновиди дробарок ударної дії – установки молоткового та роторного (роторно-бильного) типу. Перший характеризується шарнірною підвіскою виконавчих органів (молотків) на горизонтальному обертовому роторі, а другі – жорстким закріпленням подібних елементів (бив) на роторі.

На рис. 1.5 показана принципова схема однороторної молоткової дробарки неперерсивного типу, а у табл. 1.4 – технічні характеристики таких установок [1]. Оскільки тема роботи присвячена дослідженню саме такого типу дробарок, докладна розмова про них піде нижче, у розділах 3 і 4.

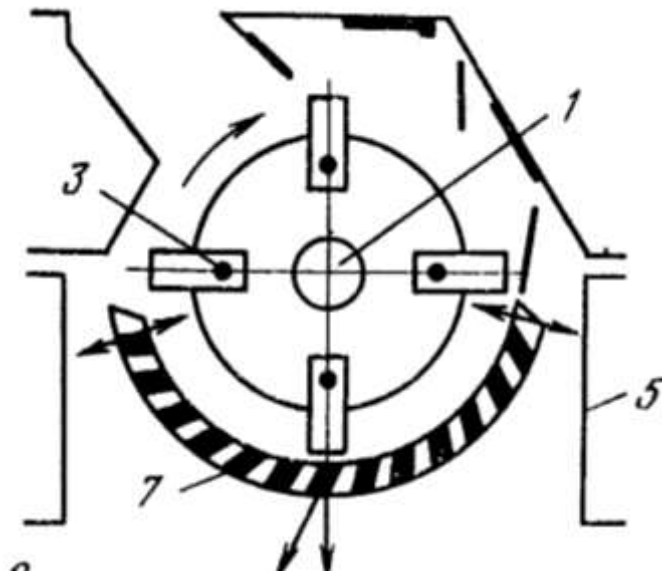


Рисунок 1.5 – Принципова схема однороторної молоткової дробарки:
1 – горизонтальний вал; 2 – диск ротора; 3 – осі молотків; 4 – молотки;
5 – корпус дробарки; 6 – футерувальні відбійні плити; 7 – колосникова
решітка; 8 – завантажувальна лійка

Що стосується роторно-бильних ударних дробарок, то їх біла утворюють разом із ротором одне суцільне тіло і під час ударів бив по шматках матеріалу в них приймає участь уся маса ротора. На рис. 1.6 показані основні принципові схеми конструктивних різновидів роторно-бильних дробарок [1].

Вони можуть бути як одно-, так і двороторними; з паралельним та послідовним дробленням матеріалу; реверсивними і неперерсивними; з колосниковою решіткою і без неї.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики однороторних неперерсивних молоткових дробарок

Показники	М-6-4Б	М-8-6	М-10-12	М-13-16В	М-20-30В
Розміри ротора, мм:					
діаметр	600	800	1000	1300	2000
довжина	400	600	1200	1600	3000
Максимальна крупність шматків у живленні, мм	150	250	300	300	400
Ширина розвантажувальної щілини решітки, мм	25	13	45	-	-
Максимальна крупність шматків дробленого продукту, мм	-	-	-	10	15
Частота обертання ротора, об/хв.	1250	1000; 1300	580; 950	730	500
Продуктивність, т/г	12-15	19,5-48	52-84	150-200	850-1000
Потужність електродвигуна, кВт	17	10	110180	200-250	1250
Маса дробарки, т	1,28	2,3	7,1	12,5	54,1

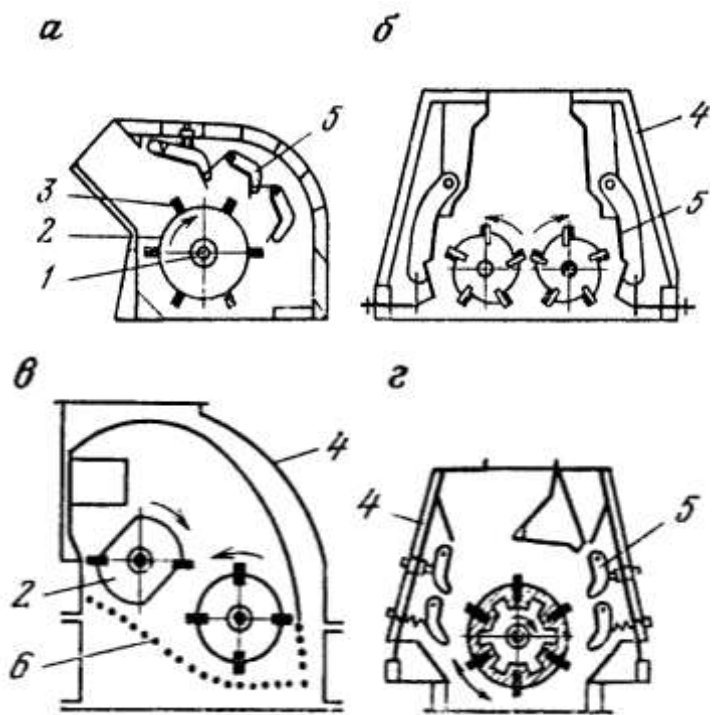


Рисунок 1.6 – Основні принципові схеми роторних дробарок:

а – однороторної; *б* – двороторної паралельного дроблення;

в – двороторної послідовного дроблення; *г* – однороторної реверсивної;

1 – горизонтальний вал; 2 – масивний ротор; 3 – била;

4 – корпус дробарки; 5 – відбійні плити; 6 – колосникова решітка

У табл. 1.5 приведені технічні характеристики ударних роторно-бильних дробарок [1].

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики ударних роторно-бильних дробарок

Показники	ДРК 5х4	ДРК 8х6	ДРК 16х12	ДРК 25х20
Розміри ротора, мм:				
діаметр	500	800	1600	2500
довжина	400	630	1250	2000
Окружна швидкість ротора, м/с	20; 26,5; 35	20; 26,5; 35	20; 26,5; 35	20; 26,5; 35
Максимальний розмір завантажуваних шматків, мм	250	400	800	1500
Розмір отворів колосникової решітки або відбійної плити, мм	10–63	16–100	32–200	50–313
Продуктивність, м ³ /г	13	50	200	560
Потужність електродвигуна, кВт	10	40	160	400
Маса дробарки (без електрообладнання), т	2	6	30	100

Операції подальшого подрібнення мінеральної сировини здійснюються у більшості випадків у барабанних млинах під час обертання порожнистого корпусу за рахунок впливу на частинки породи спеціальних помольних тіл або за допомогою принципу самоподрібнення. В якості помольних тіл у стрижневих млинах використовуються металеві стрижні, у кульових млинах – металеві кулі, у млинах самоподрібнення – руду крупного дроблення, у рудногалькових млинах – рудну гальку. У будь-якому випадку помольні тіла разом з подрібнюваним матеріалом

перекочуються у середині обертового барабану і перетирають частинки породи.

Процес подрібнення може відбуватися як сухим способом, так і мокрим (матеріал транспортується або повітряним, або водяним потоками). Розвантаження матеріалу відбувається зливом через центральну цапфу млина чи спочатку через спеціальну решітку за допомогою примусового підйомного пристрою.

На рис. 1.7 показана принципова схема кульового млина з розвантаженням матеріалу через решітку [1,10]. Її циліндричний барабан 1, футерований зсередини броньовими плитами 10, обертається на своїх цапфах 4 у підшипниках 6 і 7 на сферичних опорах. Крутний момент на барабан передається від електропривода млина за допомогою зубчастої передачі, ведений вінець якої

знаходиться на зовнішній поверхні барабану. Живлення дробарки матеріалом забезпечується прикріпленням до фланця завантажувальної цапфи живильником 9 (може бути равликового, барабанного або комбінованого типу).

Форма футерівки барабану суттєво впливає на роботу млина, адже розташування, форма і розміри її ребер визначають характер руху помольних тіл та подрібнювального матеріалу.

Підшипникові вузли змащуються рідкими мастилами, а зубчасті передачі – консистентним.

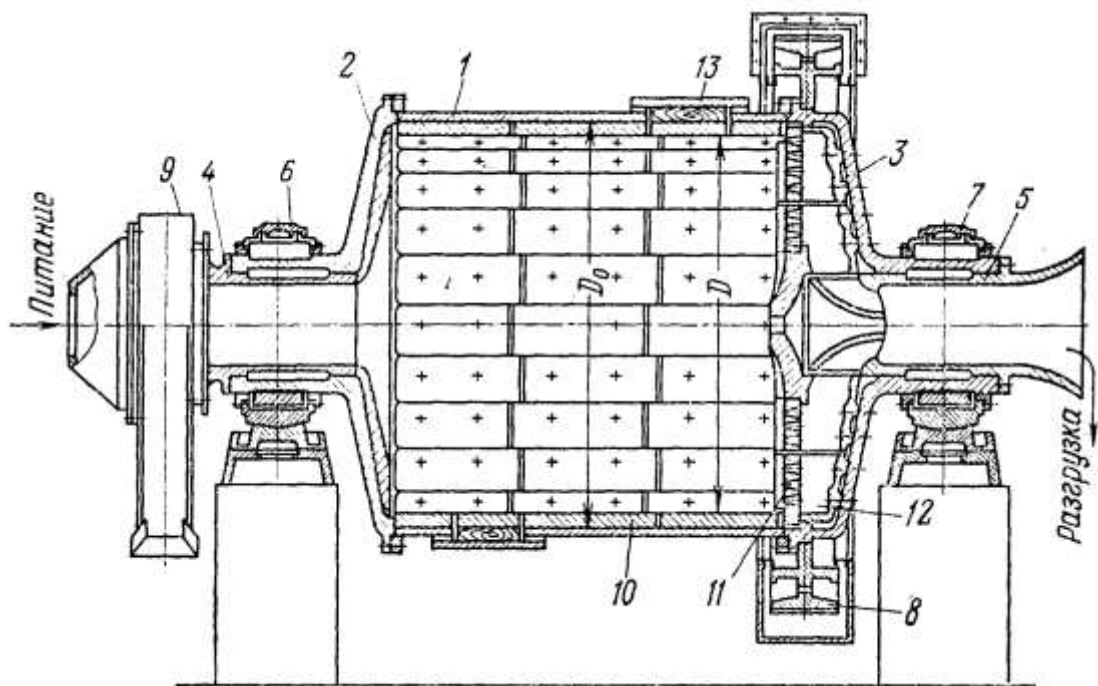


Рисунок 1.7 – Принципова схема кульового млина з розвантаженням через решітку:

- 1 – барабан; 2 – торцева кришка завантажувального кінця;
- 3 – торцева кришка розвантажувального кінця; 4 – цапфа;
- 5 – розвантажувальна лійка; 6, 7 – підшипники; 8 – кожух вінцевої передачі; 9 – живильник; 10 – футерівка барабана;
- 11 – розвантажувальна решітка; 12 – ліфтери; 13 – люк

У табл. 1.6 приведені технічні характеристики кульових млинів з розвантаженням через решітку.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики кульових млинів з розвантаженням через решітку

Показники	МШР 900х 900	МШР 2100х 1500	МШР 2700х 2700	МШР 3600х 4000	МШР 4500х 5000
Внутрішній діаметр барабана (без футерівки), мм	900	2100	2700	3600	4500
Довжина барабана, мм	900	1500	2700	4000	5000
Номинальний робочий об'єм барабана, м ³	0,45	4,3	13,0	35,5	70,0
Швидкість обертання барабана, об/хв.	40,0	24,4	21,0	18,0	16,5
Потужність електродвигуна, кВт	15	132	315	1000	2500
Маса млина з редуктором (без електрообладнання та куль), т	1,0	10,0	31,0	82,0	150,0

Висновки:

- процеси дроблення і подрібнення мінеральної сировини є надзвичайно енергоємними і вартісними, адже вони потребують значної енергії на подолання опору мінеральної сировини. Тому задачі постійного удосконалення дробильно-подрібнювального обладнання, пошук і впровадження найбільш ефективних та економічних способів подрібнення, розробка найкращих способів і схем експлуатації дробарок і млинів різних типів і конструкцій є дуже важливими й актуальними і весь час повинні знаходитися у центрі уваги науковців, проєктантів, машинобудівників та виробничників гірничої галузі;

- процеси дроблення та подрібнення гірничої маси виконуються у декілька стадій і характеризуються показником ступеня дроблення та технологічною ефективністю переробки сировини;

- виконаний аналіз існуючого механічного обладнання для дроблення та подрібнення мінеральної сировини свідчить про наявність установок високого технічного рівня для переробки порід з різними фізико-механічними властивостями, але усі вони потребують постійного удосконалення для підвищення загальної ефективності дробильно-помольних робіт.

1.4 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – підвищення ефективності роботи молоткової дробарки за рахунок удосконалення конструкції та обґрунтування параметрів її робочого органу.

Проведений огляд існуючих конструкцій, галузей використання та особливостей будови механічного обладнання для дроблення та подрібнення мінеральної сировини (зокрема, молоткових дробарок ударної дії) дали можливість сформулювати задачі, які необхідно вирішити під час виконання магістерської роботи:

- вибрати потрібні методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- проаналізувати особливості конструктивного виконання, принципу дії, переваг та недоліків молоткових дробарок;
- дослідити та обґрунтувати раціональні параметри молоткових дробарок;
- дослідити вплив різних факторів на ефективність процесу дроблення у молоткових дробарках;
- дослідити динаміку процесу взаємодії молотка з гірничою породою;
- обґрунтувати раціональні експлуатаційні та конструктивні параметри молоткових дробарок для підвищення ефективності процесу дроблення мінеральної сировини та довговічності обладнання;
- розробити рекомендації щодо раціональних режимів монтажу та експлуатації молоткових дробарок.

Об'єкт дослідження – технологічний процес ударного руйнування мінеральної сировини у молоткових дробарках.

Предмет дослідження – молоткові дробарки ударної дії.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Під час виконання магістерської роботи використовувалися різні методи теоретичних та експериментальних і наукових досліджень, які дали можливість вирішити сформульовані у роботі задачі і досягнути поставленої мети.

Зокрема, із застосуванням аналітичного методу досліджень за допомогою аналізу та узагальнення науково-технічної та патентної інформації здійснено огляд існуючих способів дроблення та подрібнення гірничої маси для розкриття мінералів під час підготовки руд та іншої сировини до збагачення, проаналізовано типи та основні конструктивні особливості дробильного обладнання, що знаходить переважне використання у сучасній гірничій промисловості.

Під час виконання теоретичних досліджень знаходили застосування основні положення та методи теорії подібності і моделювання. Наприклад, для аналізу взаємодії молотка з гірничою породою використовувався метод моделювання, а саме: було розглянуто математичну модель динамічного процесу руйнування шматка з урахуванням типу удару молотка по ньому. Побудова моделі здійснювалася на основі теорії удару.

Для обґрунтування раціонального розташування молотків на роторі дробарки виконувалося моделювання напружено-деформованого стану робочих елементів молоткової дробарки та алгоритмізація процесів, що відбуваються в таких установках під час їх роботи.

Експериментальні дослідження реалізовувалися за допомогою положень теорії надійності, теорії ймовірності, методів неруйнівного контролю та методів математичної статистики.

Зокрема, під час оцінки технічного стану молотків молоткової дробарки методи неруйнівного контролю давали можливість визначати залишковий ресурс обладнання, виявляти приховані дефекти та видавати рекомендації щодо термінів його ремонтів. Використання та обробка статистичної інформації дозволили за допомогою методу кореляційно-регресивного аналізу отримати показники надійності робочого обладнання молоткових дробарок з кільцевим та шаховим розта-

шуванням молотків, наприклад графіків, що характеризують його безвідмовну роботу.

Метод вибухового поверхневого зміцнення деталей машин використовувався для обробки поверхонь молотків дробарки, що дало можливість суттєво підвищити їх зносостійкість а, значить, і довговічність.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МОЛОТКОВИХ ДРОБАРОК

3.1 Аналіз особливостей конструктивного виконання, принципу дії, переваг та недоліків молоткових дробарок

Загальну класифікацію ударних дробарок молоткового типу можна представити у наступному вигляді в залежності від таких конструктивних ознак [11]:

- за числом роторів – однороторні та двороторні;
- за напрямком обертання ротору (роторів) – нереверсивні (ротор обертається лише в один бік) та реверсивні (допускається обертання ротору в обидва боки з метою збільшення міжремонтних термінів);
- за місцем розташування завантажувальної лійки – по осі дробарки та зі зміщенням відносно неї;
- за наявністю у конструкції колосникових решіток – з ними і без них.

Основні конструктивні типи молоткових дробарок представлені на рисунках табл. 3.1. Вертикальний розріз молоткової дробарки показаний на рис 3.1 [12]. Головним її вузлом є швидкообертовий навколо горизонтальної осі ротор. Його молотки 1 підвішені з можливістю обертання на осях 2 між дисками 3, які встановлені на горизонтальному валу 4 через певні проміжки. Вал обертається у підшипникових вузлах рами 5 дробарки і крім дисків з молотками несе на собі маховик і приводний шків, встановлені на його протилежних кінцях. Гірничу масу подається у дробарку через завантажувальну лійку 6, футеровану зносостійкими плитами. З такого ж матеріалу виконані масивні відбійні плити 7. Під ротором з певним зазором відносно молотків встановлена колосникова решітка 8. Загальний вигляд ротора молоткової дробарки показаний на рис. 3.2 [11].

Дроблення падаючих із завантажувальної лійки у камеру дробарки шматків матеріалу здійснюється у декілька стадій. Спочатку вони потрапляють під удари обертових молотків. У залежності від розташування завантажувальної лійки ці удари можуть бути бічними (лійка знаходиться посередині, приблизно по осі

дробарки) або спрямованими зверху-вниз чи знизу-нагору (при бічному розташуванні лійки у залежності від того, зліва чи справа від осі вона знаходиться, та від напрямку обертання ротору – за годинниковою стрілкою чи проти неї). Ці удари руйнують шматки, надають фрагментам високу швидкість і відкидають їх на відбійні плити. При зіткненні з останніми шматки додатково руйнуються, їхні фрагменти відскакують від плит і знову потрапляють під удари обертових молотків. Руйнування шматків здійснюється також між молотками і плитами, які у цей момент підтримують їх на кшталт ковадла. Остаточне дроблення відбувається у зазорі між молотками і колосниковою решіткою. Тут руйнування матеріалу в основному здійснюється за рахунок його роздавлювання, розколювання та стирання. Подрібнений матеріал виходить з дробарки через щілини між колосниками решітки. Ширина щілини визначає розмір дробленого продукту.

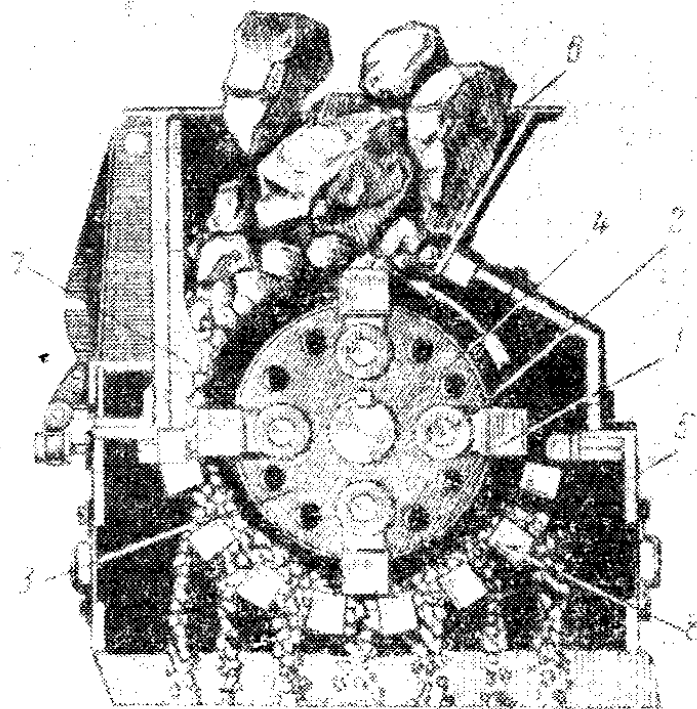


Рисунок 3.1 – Вертикальний розріз молоткової дробарки:

1 – молоток; 2 – вісь; 3 – диск; 4 – вал; 5 – рама;
6 – завантажувальна лійка; 7 – відбійна плита; 8 – колосникова решітка

Найбільш ефективний руйнівний вплив на шматок мають удари молотків на льоту, крупні шматки добре руйнуються під час ударного дроблення на плитах, а дрібні – за рахунок роздавлювання і стирання на колосниковій решітці.

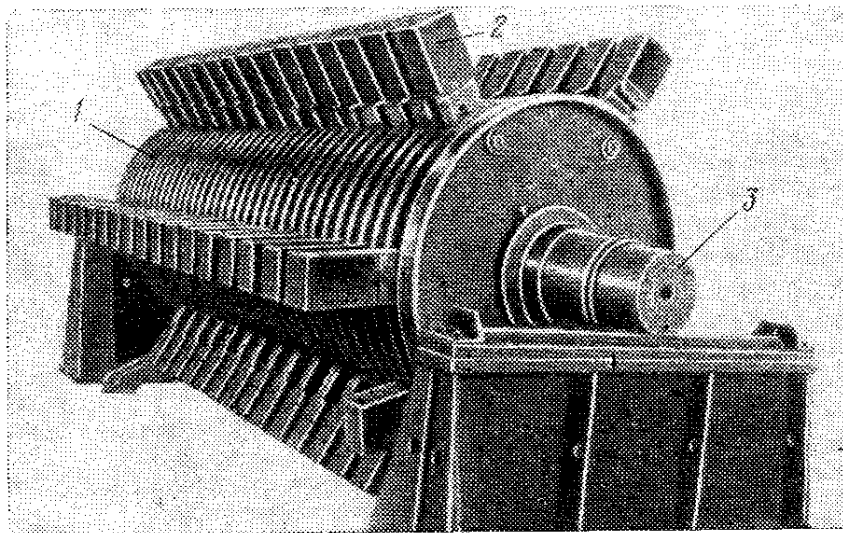


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд ротора молоткової дробарки:
1 – диски; 2 – молотки; 3 – вал

Вільна підвіска молотків на дисках ротора та можливість певного переміщення відбійних плит забезпечують захист дробарки від ушкоджень її конструктивних елементів занадто крупними шматками матеріалу або сторонніми металевими предметами, які можуть випадково потрапити у робочу камеру установки. Регулювання місця розташування та кута нахилу відбійних плит відносно ротора допомагає підвищувати ефективність процесу дроблення гірничої породи.

Наявність у конструкції молоткової дробарки колосникової решітки дозволяє реалізувати режим остаточного дрібного дроблення матеріалу з мінімальним вмістом шматків розміром вище заданого у готовому продукті, а також ефективно дробити породу підвищеної вологості, яка погано руйнується ударами. Крім того, змінення положення решітки відносно ротора (а, значить, величини зазору між ними) дає можливість регулювання крупності дробленого продукту.

Дробарки без колосникової решітки забезпечують отримання більш рівномірного за крупністю готового продукту за рахунок підвищеної швидкості обертання ротору. Це дає можливість багаторазового ударного впливу молотків на шматки під час їх проходження крізь дробарку.

Деякі конструкції молоткових дробарок постачені вбудованими у робочу зону конвеєрами важкого типу (див. рисунки у табл. 3.1), які призначені для дроблення вологих глинистих матеріалів. Конвеєри подають породу до ротора і виклю-

чають забивання дробарки.

Реверсивні моделі молоткових дробарок дають можливість рівномірного зношення молотків з обох боків їх ударної частини. У разі використання нереверсивних конструкцій передбачається можливість перестановки молотків з поворотом їх на 180° . Усе це сприяє підвищенню довговічності ударних елементів. На рис. 3.3 показані деякі можливі конструкції молотків [12]. Вони можуть мати різну форму: від простої прямокутної пластини (рис. 3.3а) до більш складних фігурних (рис. 3.3б,в). Перша постачена двома отворами, які дозволяють на додаток до повороту молотків ще й перевертати їх і встановлювати на другий отвір. Інші не мають такої можливості, але їх ударна частина виконується більш важкою. Молотки спеціальних конструкцій можуть мати складнішу конфігурацію.

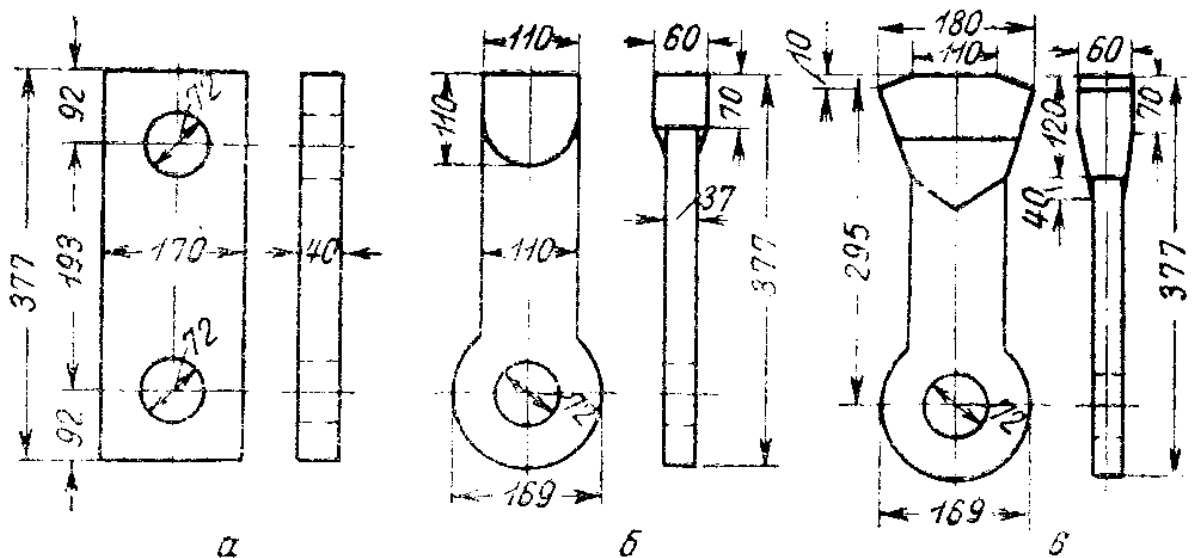


Рисунок 3.3 – Деякі можливі форми молотків

Молотки, виконані з термічно оброблених легованих сталей (наприклад, з високим вмістом марганцю і хрому), працюють довше і забезпечують отримання готового продукту більш рівномірного розміру. Хороші результати під час багаторічної експлуатації молоткових дробарок показали молотки із загартованими робочими гранями, зроблені зі сталей 40X і 40CX [12].

Колосникові решітки молоткових дробарок зазвичай виконують знімними та легко встановлюваними. У більшості випадків вони складаються з окремих

колосників, які мають клиноподібну форму і зорієнтовані у решітці широкими кінцями усередину робочого простору установки. Це дає можливість створити щілини, що розширюються у напрямку руху матеріалу і полегшують процес його розвантаження. На рис. 3.4 показані можливі типи колосників для подрібнення вугілля.

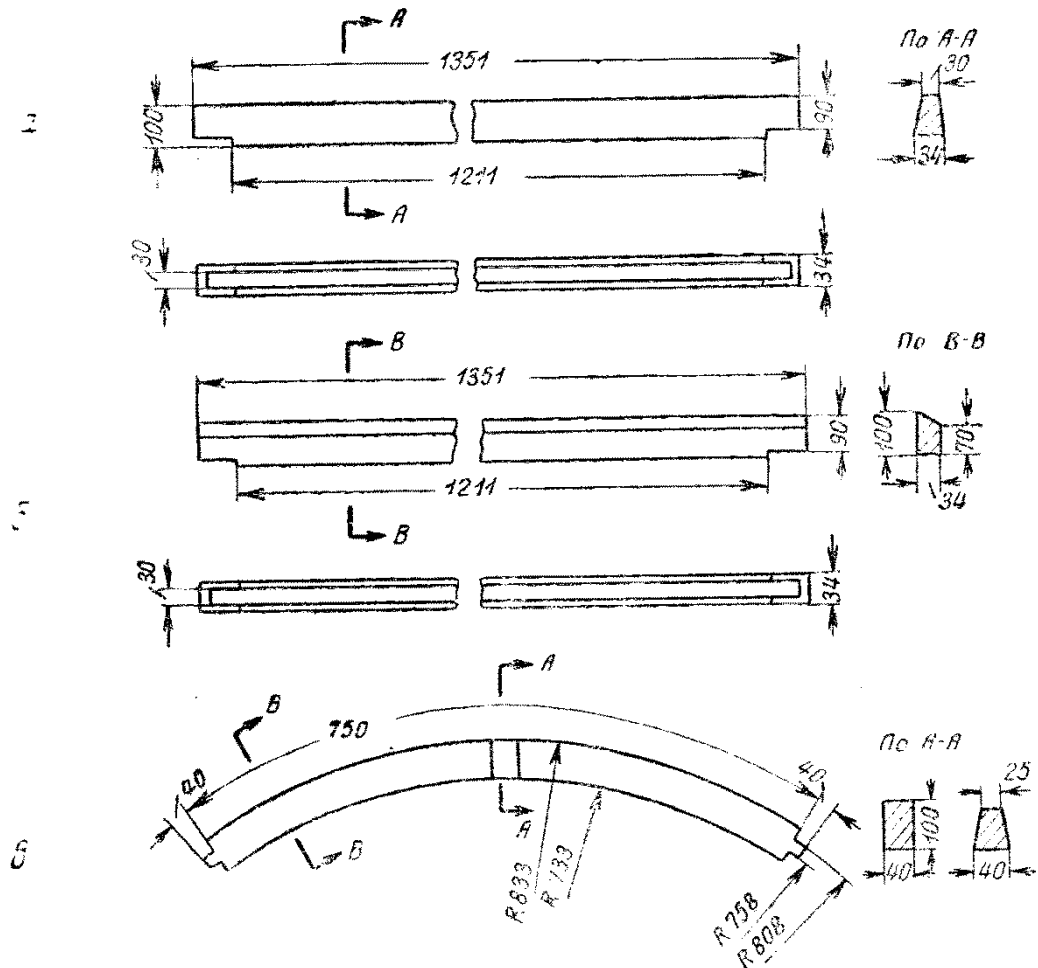


Рисунок 3.4 – Можливі типи колосників для подрібнення вугілля:
а – стандартні; б – скошені; в - дугові

Характер розміщення відбійних плит у дробарці залежить від розташування завантажувальної лійки (рис. 3.5) [12]. Вони можуть бути підвішені на осях, як це показано на рис. 3.5а (цілком вільно або з пружинними амортизаторами). Така установка зберігає їх у цілісності навіть коли сила удару шматка перевищує межу міцності матеріалу плит. Це можуть бути конструкції у вигляді масивних циліндричних стрижнів, що вільно обертаються навколо своєї осі (рис. 3.5б). У дробарках без колосникових решіток відбійні плити встановлюються каскадами і займа-

ють весь простір робочої камери з обох боків ротора (рис. 3.5в). Вони також можуть мати вигляд масивних відливок хвилястої форми (рис. 3.5г).

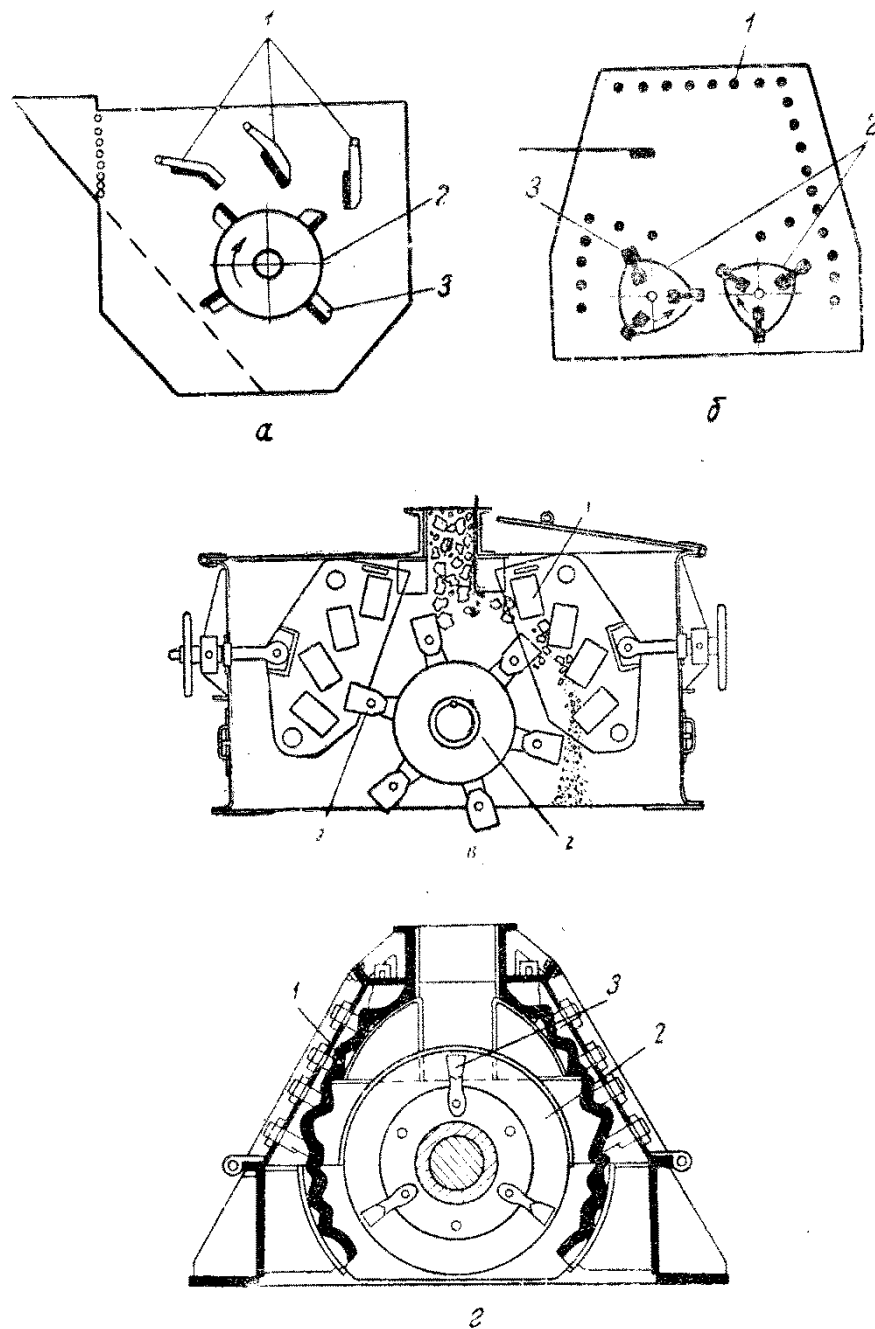


Рисунок 3.5 – Конструкції відбійних плит молоткових дробарок:
а – з підвіскою на осях; *б* – у вигляді масивних вільно обертових стрижнів;
в – для конструкцій без колосникової решітки;
г – у вигляді масивних відливок хвилястої форми

Найбільш відповідальним вузлом молоткової дробарки є її високошвидкісний ротор. Його вал виконують зазвичай з кованої високовуглецевої або легованої сталі, а диски – з литої сталі з міцними маточинами. Підшипники використовую-

ться роликові самоустановлювані, причому принаймні один з них повинен бути радіально-упорним для сприймання бічних ударів від робочого навантаження. Підвищена увага має бути приділена змащенню підшипникових вузлів та захисту їх від пилу.

Аналіз особливостей роботи молоткових дробарок показує, що переважно ударний тип руйнування породи у цих конструкціях дає подрібнений матеріал у вигляді шматків з дуже невеликим вмістом пилу. Молоткові дробарки відрізняються високим ступенем подрібнення, що може досягати 50, а в деяких випадках і вище. Внаслідок цього вони набагато компактніші у порівнянні, наприклад, з установками щокowego або конусного типу, потребують менших витрат енергії на дроблення одиниці матеріалу, більш дешеві.

Можливість надання молоткам будь-якої геометричної форми та різної ваги робить дробарки молоткового типу надзвичайно універсальними і придатними для руйнування найрізноманітніших за своїми фізико-механічними властивостями матеріалів. Особливо ефективно відбувається руйнування крихких матеріалів, що відрізняються схильністю до розтріскування та розщеплення. Разом із тим, твердість порід тут має менше значення. Внаслідок потужного ударного впливу на матеріал (окружна швидкість кінців обертових молотків при діаметрі ротору до 2000 мм може перевищувати 100-120 м/с) опір гірничих порід виникаючим деформаціям суттєво нижчий, ніж у дробарках неударних типів.

До основних недоліків молоткових дробарок слід віднести порівняно швидке зношення молотків і футеровки під час дроблення абразивних матеріалів (особливо кремнієвих); погане дроблення пластичних, еластичних і волокнистих речовин та дуже вологих глинистих порід (останні заліплюють молотки і дробарка зупиняється); неможливість роботи під завалом (установки потребують рівномірного завантаження спеціальним живильником, тому що у разі перевантаження дробарка забивається і також перестає працювати).

У загальному підсумку переваги ударних дробарок молоткового типу значно перевищують наявні недоліки цих конструкцій, що стає причиною широкого розповсюдження подібного обладнання як для дрібного дроблення (до розмірів

від 0-1 до 0-10 мм), так і для крупного (з розмірами шматків породи у живленні до 500-600 мм).

В умовах середнього дроблення одна молоткова дробарка може забезпечити ступінь подрібнення до 40-50, дати продукт, придатний для подрібнення у кульових млинах і замінити таким чином собою дві-три послідовно встановлені дробарки інших типів. У деяких випадках молоткові дробарки демонструють більшу ефективність роботи, ніж короткоконусні, і забезпечують більшу продуктивність при однаковій питомій витраті енергії.

3.2 Дослідження та обґрунтування раціональних параметрів молоткових дробарок

Основними параметрами молоткової дробарки вважаються її продуктивність, геометричні розміри ротору, швидкість його обертання, максимальний розмір шматків живлячого матеріалу та ступінь подрібнення установки.

Механіка процесу руйнування гірничих порід у молоткових дробарках досі досліджена у недостатньому ступені. Фактична продуктивність дробарок залежить від багатьох факторів, що впливають на процес дроблення, тому для приблизного визначення об'ємної продуктивності таких конструкцій рекомендується користуватися наступними емпіричними формулами, отриманими за результатами багаторічного досвіду їх практичної експлуатації [3,7,11]:

$$\text{в разі } D_p \geq L_p \text{ маємо: } Q_o = 100 D_p^2 L_p n, \text{ м}^3/\text{Г}, \quad (3.1)$$

$$\text{в разі } D_p \leq L_p \text{ маємо: } Q_o = 100 D_p L_p^2 n, \text{ м}^3/\text{Г}, \quad (3.2)$$

де D_p – діаметр ротора, м; L_p – довжина ротора, м; n – швидкість обертання ротора, тис. об/хв.

Для дрібного дроблення вугілля оптимально налаштованою молотковою дробаркою запропонована наступна формула для визначення вагової продуктивності установки [11]:

$$Q_s = 0,06KL_p z v^2 n \gamma, \text{ т/Г,} \quad (3.3)$$

де K – коефіцієнт, що характеризує фізичні властивості оброблюваного матеріалу та якість процесу дроблення; L_p – довжина ротора, м; z – число поздовжніх рядів молотків на роторі; v – окружна швидкість ротора на кінцях обертових молотків, м/с; n – швидкість обертання ротора, об/хв.; γ – насипна вага дробленого матеріалу, т/м³.

Залежність коефіцієнту K від ступеня дроблення вугілля марки Г показана на рис. 3.6 і може бути описана наступною формулою [11]:

$$K \cdot 10^{-5} = 7,9 - 3,75e, \quad (3.4)$$

де $e \cdot 10$ – ступінь дроблення.

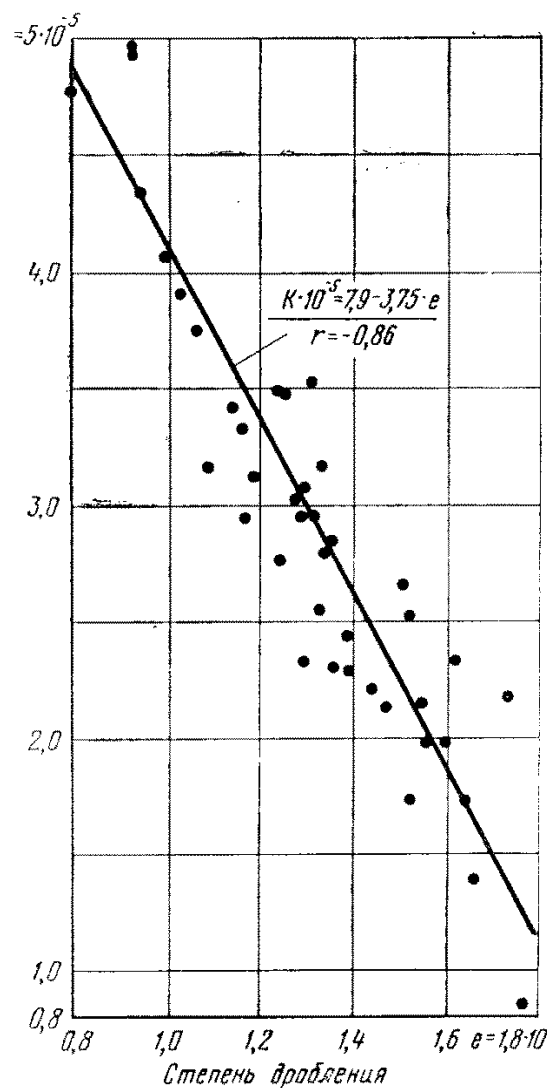


Рисунок 3.6 – Значення коефіцієнту K при різному ступені дроблення

Діаметр ротора дробарки визначається виходячи із співвідношення між розміром максимального шматка матеріалу та конструктивними елементами ротора. Для дробарок з центральним завантаженням матеріалу, де шматки дробляться здебільшого за рахунок ударів молотків на льоту, маємо:

$$D_p = 3d + 550 \text{ мм}, \quad (3.5)$$

а для дробарок з бічним завантаженням матеріалу похилою плитою, в яких дроблення здійснюється на цій плиті:

$$D_p = 1,65d + 520 \text{ мм}, \quad (3.6)$$

де D_p – діаметр ротора по кінцях обертових молотків, мм; d – найбільший розмір шматків подрібнюваного матеріалу, мм.

Довжина ротора пов'язана з величиною його діаметру і з конструктивних міркувань має знаходитися у таких межах:

$$L_p = 0,8 - 1,2 D_p. \quad (3.7)$$

Продуктивність молоткової дробарки, витрати енергії на процес дроблення та ступінь зношення її робочих елементів залежать від того, яким чином відбувається завантаження гірничої маси у зону обертового ротора. Як було зауважено вище, реверсивні дробарки мають завантажуватися вертикально по осі конструкції, а нереверсивні – збоку таким чином, щоб матеріал потрапляв у зону дроблення у напрямку обертання молотків. У будь-якому разі енергія удару молотків по шматках повинна використовуватися максимально ефективно. А це може бути забезпечено узгодженням швидкостей обертання ротора та завантаження матеріалу, від яких залежить глибина проникнення шматка гірничої маси у зону обертового ротора. Остання не повинна бути надмірною, що може спостерігатися при високій швидкості завантаження і викликати швидке зношення дисків та стрижнів молотків. При недостатній швидкості завантаження шматки матеріалу будуть потрапляти під ковзні удари молотків недостатньої енергії, внаслідок чого

продуктивність дробарки буде знижуватися, а ступінь зношення зовнішнього краю молотків зростати.

З огляду на вищесказане, глибину C проникнення шматків у зону обертового ротора для дроблення їх на льоту слід приймати у межах не менше 60% максимального розміру шматків (рис. 3.7а) [11]. У цьому випадку можна очікувати центрального удару робочої частини молотка (бойка) по шматку.

При вертикальному завантаженні по центру ротора шматок повинен мати швидкість у зоні обертання останнього величиною:

$$v_1 = \frac{Cnz}{60}, \text{ м/с}, \quad (3.8)$$

а при вертикальному бічному завантаженні (рис. 3.7б):

$$v_2 = \frac{Cnz}{60 \cos \beta}, \text{ м/с}, \quad (3.9)$$

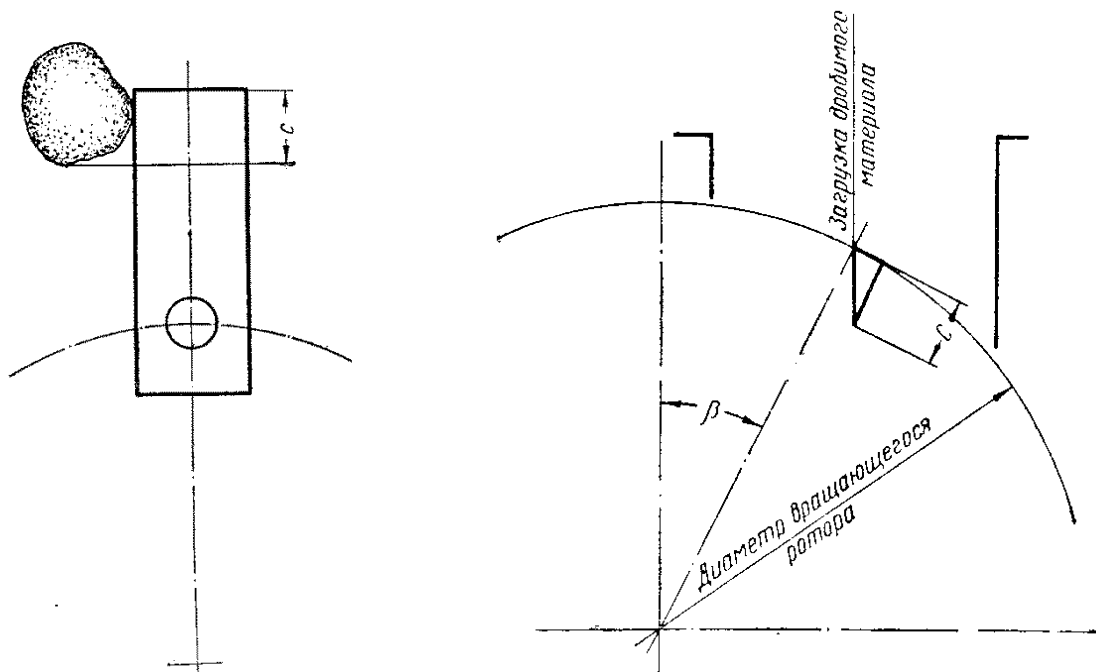


Рисунок 3.7 – Оцінка ступеня проникнення шматка подрібнюваного матеріалу у зону обертового ротора молоткової дробарки:
а – глибина проникнення; б – схема проникнення

де C – глибина проникнення шматка у зону обертового ротора, м; n – швидкість обертання ротора, об/хв.; z – число поздовжніх рядів молотків на роторі.

У разі завантаження дробарки вільно падаючим матеріалом висота падіння шматків має бути:

$$H = \frac{v^2}{2g}, \text{ м}, \quad (3.10)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

На рис. 3.8 показана залежність висоти вільного падіння матеріалу у дробарку, що завантажується по центру ротора, від окружної швидкості обертання останнього для різних розмірів завантажувальних шматків та різного числа поздовжніх рядів молотків на роторі [11].

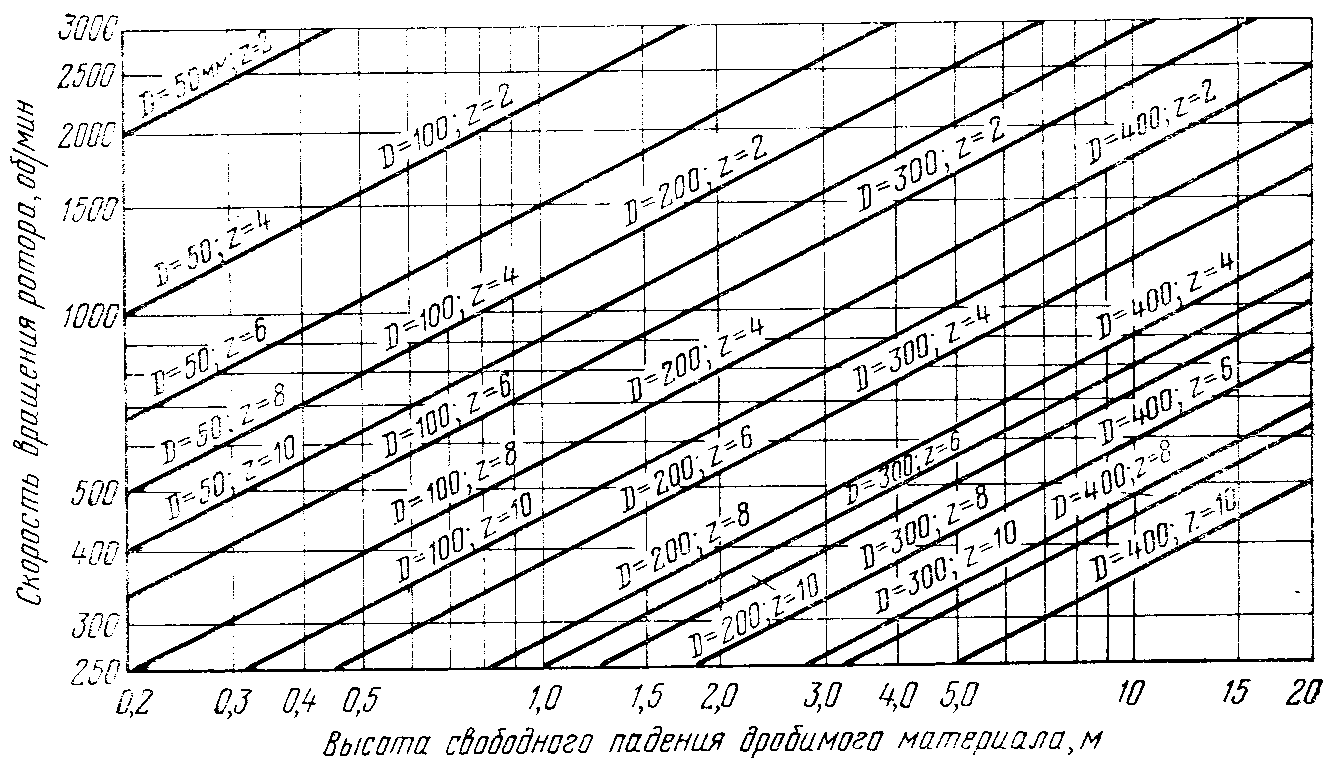


Рисунок 3.8 – Висота вільного падіння шматків гірничої маси при різній швидкості обертання ротора:

D – максимальний розмір шматка матеріалу у завантаженні, мм;

z – число поздовжніх рядів молотків на роторі

3.3 Дослідження впливу різних факторів на ефективність процесу дроблення

Основним фактором впливу на ефективність процесу дроблення мінеральної сировини у молоткових дробарках є швидкість обертання ротора установки, а точніше – окружна швидкість обертання ударних бойків її молотків. Це цілком зрозуміло, адже підвищення швидкості обертання (а іншими словами – швидкості удару) викликає квадратичне зростання кінетичної енергії молотків, а, значить, й ефективності дроблення шматків породи.

Численні експериментальні дослідження, проведені у цьому напрямку у різних наукових установах, цілком підтверджують справедливості цієї залежності. Наприклад, у джерелі [11] вказується, що під час досліджень процесу дроблення газового вугілля до крупності 0-3 мм (90% у дробленому продукті при ступені дроблення ~12,5) у молотковій дробарці (діаметр ротора 1500 мм, довжина ротора 1300 мм, 6 поздовжніх рядів молотків) окружну швидкість ротора піднімали з 56 м/с (оптимальний режим роботи) до 75 та 117 м/с. При цьому були отримані наступні результати:

- підвищення окружної швидкості ротора з 56 до 75 м/с продуктивність дробарки зростала майже у 2 рази;
- підвищення окружної швидкості ротора з 56 до 117 м/с зафіксовано зростання продуктивності у 2,5-3,5 рази.

На рис. 3.9 показане це зростання як для вказаного вище ступеня дроблення, так і для його значень 10 і 16 [11]. Підрахунок продуктивності здійснювався за формулою (3.3).

Залежність продуктивності дроблення від окружної швидкості ротора може бути описана наступною формулою [11]:

$$Q_{v_x} = Q_v + \Delta Q(v_x - v), \quad (3.11)$$

де Q_{v_x} – продуктивність при окружній швидкості v_x ; Q_v – продуктивність при окружній швидкості v ; ΔQ – продуктивність, що припадає на 1 м/с окружної швидкості ротора.

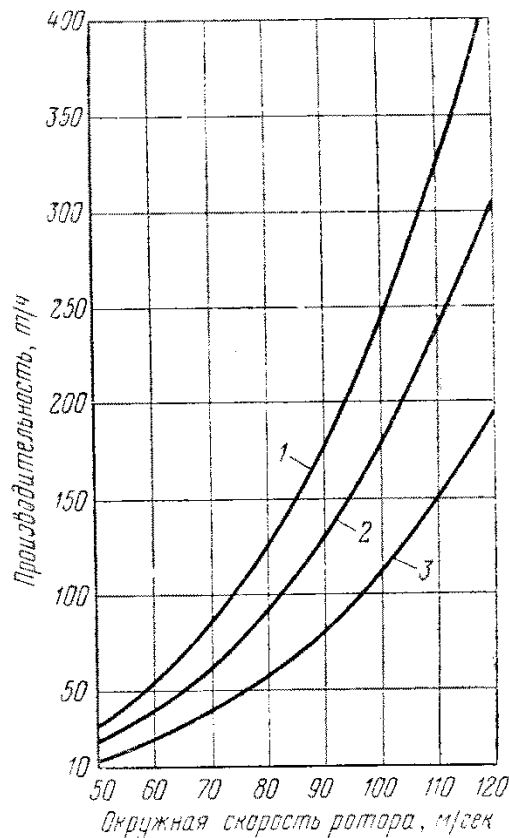


Рисунок 3.9 – Залежність продуктивності молоткової дробарки від величини окружної швидкості ротора:
1, 2, 3 – ступінь дроблення відповідно 10, 12,5 та 16

Продуктивність дроблення, його ступінь та споживана при цьому потужність взаємно пов'язані між собою. Підвищення продуктивності викликає зростання крупності дробленого продукту із зменшенням вмісту дрібних класів і навпаки. На цю залежність не впливає величина зазору між молотками та колосниковою решіткою дробарки. З іншого боку, підвищення продуктивності супроводжується зростанням споживаної дробаркою потужності. При цьому відношення потужності до продуктивності знижується із зростанням окружної швидкості для однакових значень ступеня дроблення. Наприклад, при підвищенні окружної швидкості ротора з 56 до 117 м/с це відношення знижується у середньому на 12%. Вказані залежності приведені на рис. 3.10 і 3.11 [11].

Такі результати пояснюються досить просто: удари з більшою швидкістю руйнують достатньо крихкі матеріали із суттєво меншими витратами енергії, ніж удари з меншою швидкістю.

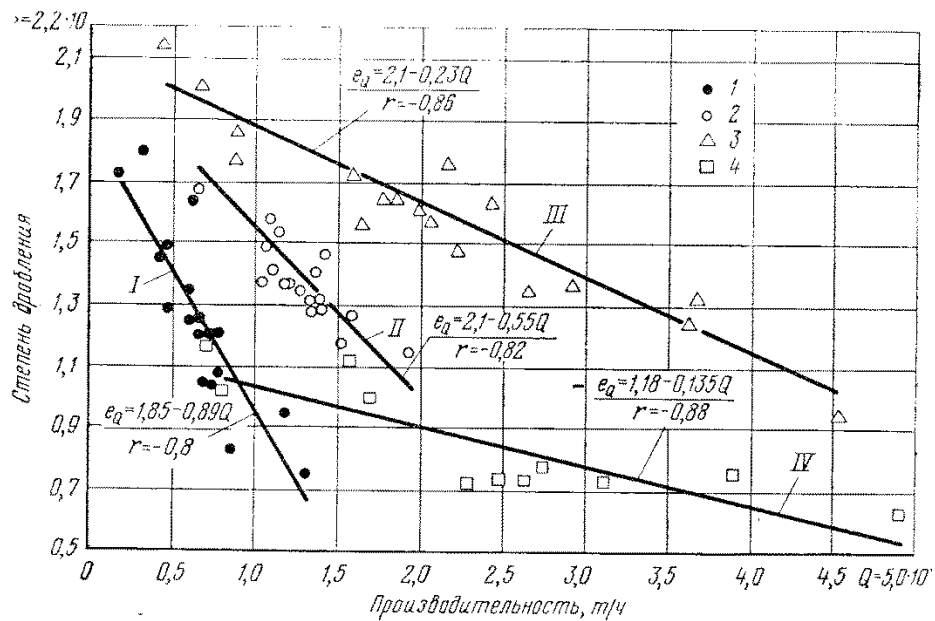


Рисунок 3.10 – Залежність ступеня дроблення від продуктивності молоткової дробарки:

1, 2 – окружна швидкість відповідно 56 і 75 м/с; 3,4 – окружна швидкість 117 м/с для зазору між молотками і колосниковою решіткою відповідно < 20 і > 25 мм; I – дробарка 1450x1300 мм, швидкість ротора 56 м/с, довжина решітки 2200 мм, зазор < 35 мм; II – дробарка 1450x1300 мм, швидкість ротора 75 м/с, довжина решітки 900 мм, зазор < 15 мм; III і IV – дробарка 1500x1500 мм, швидкість ротора 117 м/с, довжина решітки відповідно 600 і 900 мм, зазор відповідно < 15 і > 25 мм

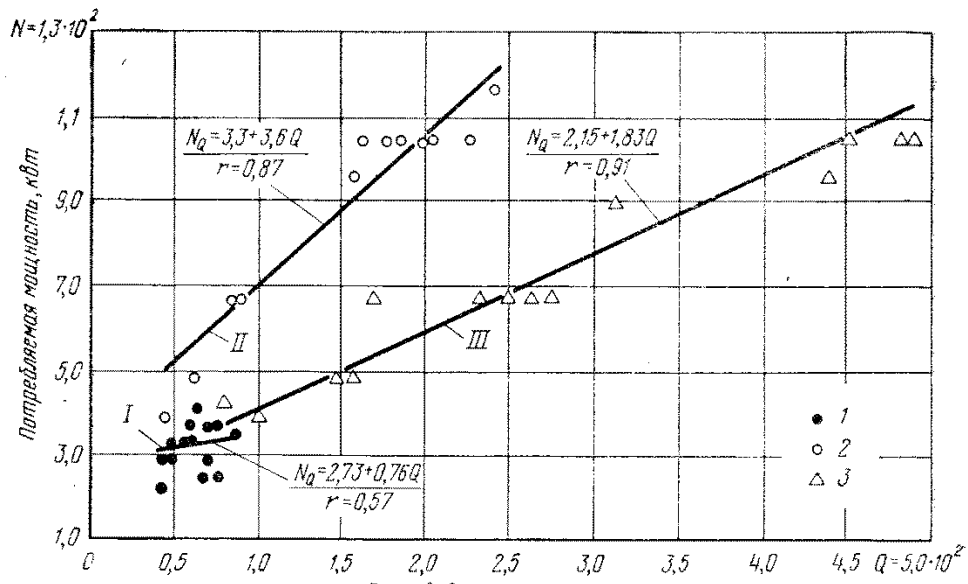


Рисунок 3.11 – Залежність величини споживаної потужності від продуктивності молоткової дробарки:

1 – окружна швидкість 56 м/с, довжина колосникової решітки 2200 мм; 2 – окружна швидкість 117 м/с, довжина колосникової решітки 600 і 900 мм, ступінь дроблення 15-21; 3 – окружна швидкість 117 м/с, довжина колосникової решітки 200, 600 і 900 мм, ступінь дроблення 5,5-11,5

Якість дроблення матеріалу залежить й від довжини колосникової решітки дробарки. Зростання довжини призводить до збільшення ступеня дроблення ϵ практично для будь-якого значення продуктивності установки (рис. 3.12) [11].

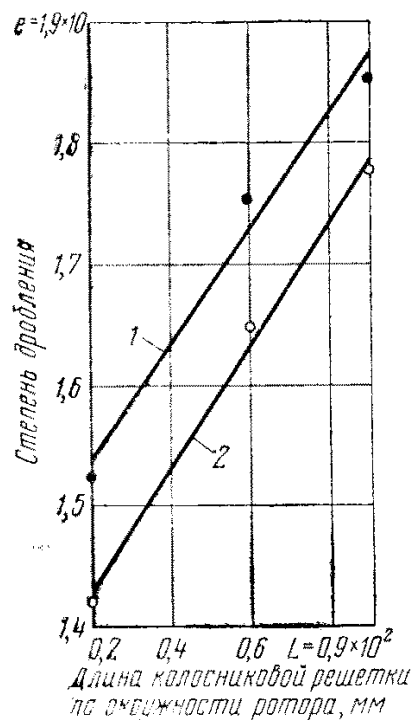


Рисунок 3.12 – Залежність ступеня дроблення матеріалу у молотковій дробарці від довжини її колосникової решітки: 1, 2 – відповідно для продуктивності дроблення 100 і 200 т/г

На ступінь дроблення впливає також і величина зазору S між молотками і колосниковою решіткою, але тільки при невеликих її значеннях. Цілком логічним є той факт, що у міру збільшення зазору зменшуються витрати потужності на процес дроблення (рис. 3.13а). На рис. 3.13б показані залежності продуктивності Q та ступеня дроблення ϵ від величини зазору S [11].

Для отримання високоефективного процесу дроблення бажано мати клино-подібної форми зазори між колосниками (такі, що звужуються у напрямку виходу дробленого матеріалу з дробарки) і малі зазори між молотками і колосниковою решіткою.

Ширина щілини між колосниками решітки на її внутрішній поверхні має бути приблизно у 1,5-2 рази більшою за розмір шматків дробленого продукту.

Для з'ясування характеру впливу конструкції колосників на якість дроблен-

ня були проведені випробування молоткових дробарок з колосниками різної форми: стандартної (плоскої), скошеної та дугової (див. рис. 3.4). Скошені колосники через швидке зношення гострої кромки погано забезпечували заданий ступінь дроблення. Плоскі виявилися більш практичними – ступінь дроблення не знижалася протягом декількох місяців роботи. Дугові конструкції показали себе як найміцніші, проте продуктивність у цьому випадку була дещо меншою у порівнянні з плоскими колосниками.

Для підвищення ефективності процесу дроблення матеріалу молотковими дробарками суттєве значення має урівноваженість молотків на удар. Мова йде про таку конструкцію молотка, при якій його вісь підвісу не сприймає ударного імпульсу під час удару по шматку гірничої породи. Такі молотки забезпечують підвищення продуктивності дробарки та зменшення питомої витрати електроенергії. Для урівноваження молотка потрібно не змінюючи загальних габаритів дробарки та його форми дещо змістити отвір для осі у напрямку до зовнішнього (робочого) краю молотка. На рис. 3.14 для порівняння показані креслення неурівноваженого та урівноваженого молотків [11,12].

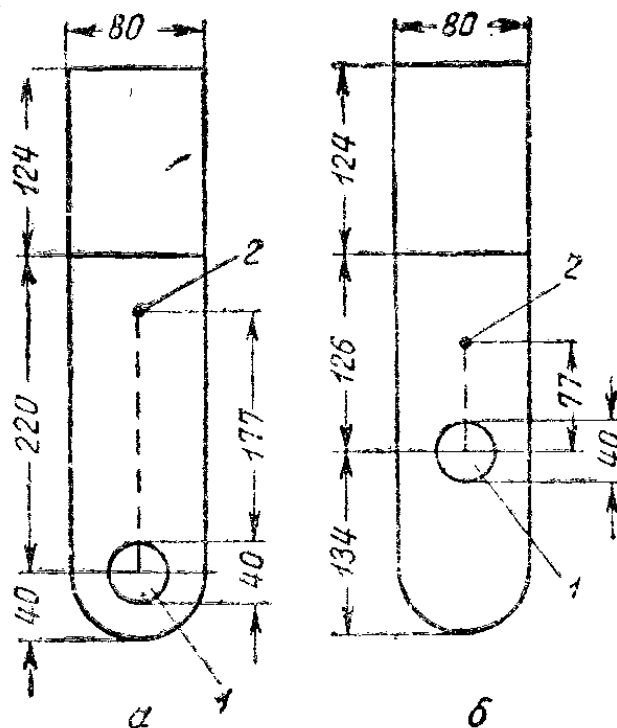


Рисунок 3.14 – Порівняння конструкцій молотків:
a – неурівноваженого на удар; *б* – урівноваженого на удар;
 1 – вісь підвісу; 2 – центр ваги

Вплив ступеня зношення молотків на якість дроблення молотковою дробарку вивчався свого часу на прикладі ударного руйнування бурого вугілля до крупності 0-6 мм продуктивністю до 65-70 т/г (рис. 3.15а). При цьому молотки досягали межі зношення при напрацюванні у 1400 годин (рис. 3.15б) [11].

Суттєвий вплив на якість дроблення матеріалу, продуктивність процесу та витрату потужності мають маса і розміри молотків. Адже руйнування шматка залежить від енергії удару молотка по ньому, тобто від кінетичної енергії, яку розвиває обертовий молоток. Величину останньої можна оцінити за допомогою загальновідомої формули:

$$E_{\kappa} = \frac{Mv^2}{2}, \quad (3.12)$$

де M – маса молотка, кг·с²/м; v – окружна швидкість молотка, м/с.

З формули видно, що регулювати величину кінетичної енергії молотка можна шляхом змінення його маси або швидкості обертання. Разом із тим, якщо порівняти два молотка з однаковими кінетичними енергіями, один з яких легкий, але швидкісний, а другий важкий, але більш тихохідний, виявляється, що вони будуть мати різні руйнівні впливи на шматки матеріалу.

Перші будуть відскакувати під час удару по важкому шматку, ушкоджувати його лише поверхнево і не зможуть повідомити шматку швидкості, потрібної для відкидання його на відбійну плиту. Наслідком такого положення буде низька продуктивність дробарки при значній витраті енергії та суттєва кількість дріб'язку у готовому продукті.

Другі будуть добре відкидати шматок, але при цьому незначно відскакувати від них у зворотному напрямку. Тобто процес дроблення буде відбуватися достатньо ефективно з утворенням у готовому продукті переважно шматкових фракцій з незначним вмістом дріб'язку. З іншого боку, для дроблення міцних матеріалів потрібно буде збільшувати швидкість обертання ротора, що при масивних молотках викликатиме значні відцентрові сили, які будуть ускладнювати кріплення молотків на роторі і можуть стати причиною аварії дробарки.

На рис. 3.16 показана схема повороту молотка під час його зворотного від-

скакування після удару по шматку матеріалу [11]. Кут цього повороту, тобто величина відскакування молотка буде залежати від його маси, розмірів і форми. Наприклад, на рисунку показаний молоток з бойком, для якого максимальний кут повороту обмежується дисками ротора. Удари молотка по ротору небажані, адже вони викликатимуть неспокійну роботу дробарки та передчасне зношення молотків у місці їхнього підвісу. З огляду на це, доцільним є обмеження допустимого кута повороту 80-90% максимально можливого значення. Для конструкцій без бойків допустимий кут повороту має бути не більшим 60° .

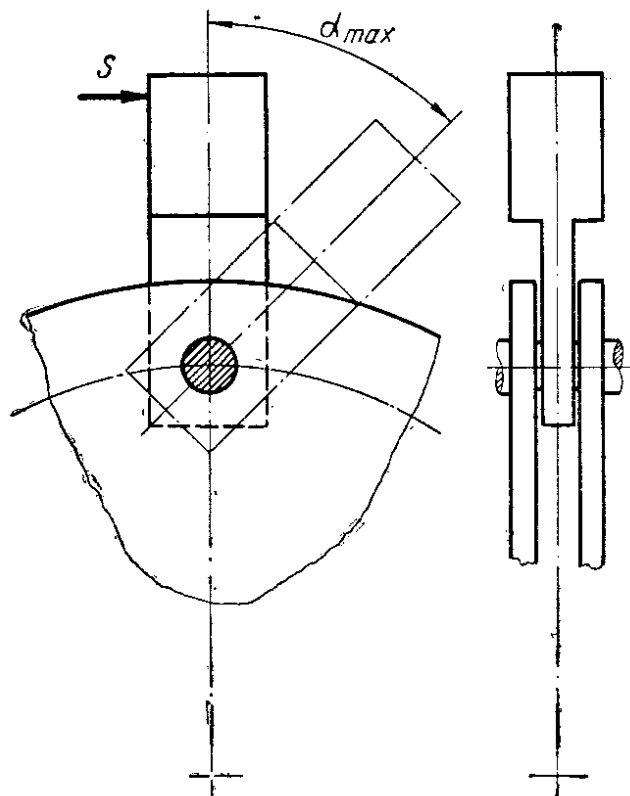


Рисунок 3.16 – Схема повороту молотка

3.4 Дослідження динаміки процесу взаємодії молотка з гірничою породою

Головну роль у справі підвищення ефективності процесу дроблення мінеральної сировини у молоткових дробарках та підвищення надійності й довговічності їх робочих органів відіграють молотки. Під час руйнування шматків породи вони піддаються значним динамічним навантаженням, потерпають від інтенсивного абразивного зношення. Молотки є найбільш уразливими конструктивними елемен-

тами дробарки, їх приходится часто замінювати і на це витрачаються значні кошти, які негативно позначаються на техніко-економічних показниках експлуатації такого обладнання.

Процес руйнування шматків у молотковій дробарці можна розглядати як результат взаємодії мас молотка та шматка породи. З цієї точки зору, у залежності від конструкції дробарки (маси, кількості та порядку розташування молотків на роторі; швидкості обертання останнього; схеми завантаження установки гірничою породою – центральною чи бічною) та умов її експлуатації (маси, розмірів та фізико-механічних властивостей шматків матеріалу; характеру процесу завантаження – його інтенсивності, швидкості шматків на вході у робочу зону дробарки) під час дроблення процес руйнування шматків гірничої породи може відбуватися за двома різними сценаріями [13]:

- за рахунок прямого удару молотків по шматках. У цьому випадку шматок спирається на ті чи інші деталі дробарки і підпадає під центральний удар молотка;
- за рахунок ковзного удару, коли удар відбувається позацентрово, по краю шматка.

У першому випадку руйнівна робота молотка прямо пропорційно залежить від швидкості співударяння його зі шматком та величини ударного імпульсу, що створюється ним. Ударний імпульс представляє собою додаток сили та тривалості удару і дорівнює кількості руху молотка, яка обчислюється як додаток маси шматка на різницю швидкостей молотка до і після удару. Таким чином, величина ударного імпульсу залежить від маси шматка і швидкості співударяння його з молотком. Ефективність використання цього імпульсу буде, у свою чергу, залежати від фізико-механічних властивостей породи та енергоємності процесу її руйнування.

У другому випадку дроблення породи здійснюється за рахунок стискальних навантажень, які будуть мати місце при ковзному ударі. Шматок породи при цьому буде відкидатися на відбійну плиту, а його руйнування відбуватиметься поступово, шляхом сколювання поверхневих шарів і дроблення їх.

На рис. 3.17 показана схема дроблення шматка у молотковій дробарці, що має у своїй конструкції вбудовані важкі конвеєри [13].

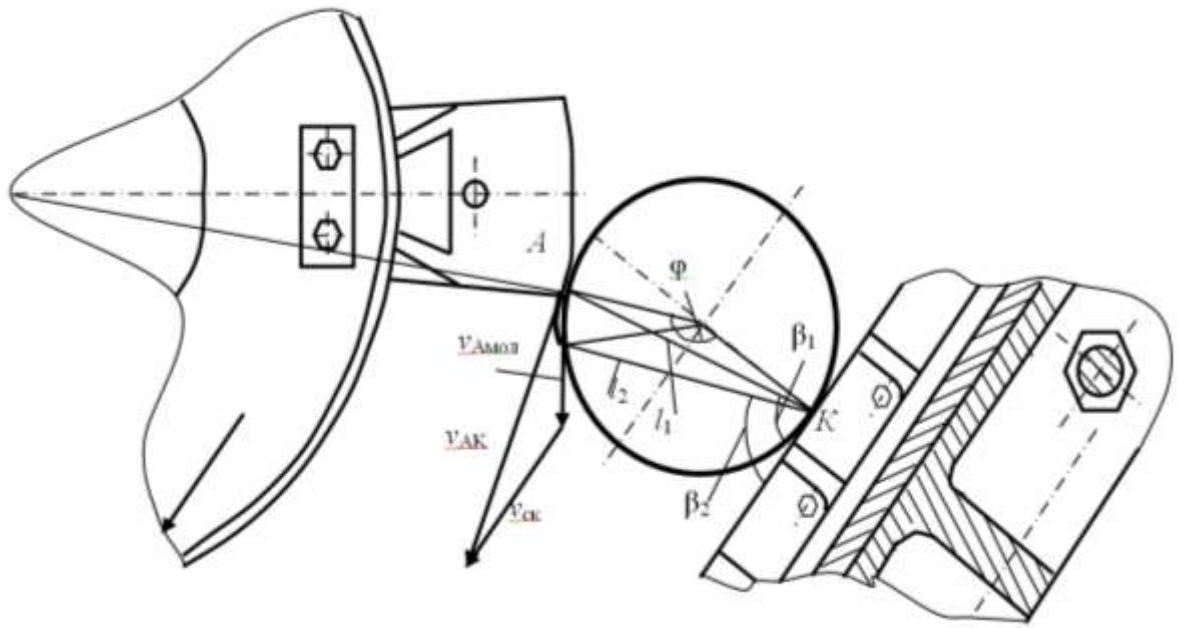


Рисунок 3.17 – Схема дроблення шматка у молотковій дробарці із вбудованими конвеєрами важкого типу

Якщо прийняти за початок координат місце контакту молотка і шматка у початковий момент удару (точка A), то у випадку ковзного удару дроблення здійснюватиметься за рахунок стискання матеріалу шматка у процесі впровадження молотка у напрямку дії вектору швидкості ковзання v_c .

Під час упровадження молотка у шматок останній буде провертатися на кут $\Delta\beta$ і сприймати при цьому наступну деформацію стискання:

$$\Delta = l_1 - l_2, \quad (3.13)$$

де $l_1^2 = 2r^2 - 2r^2 \cos 2\beta_1$; $l_2^2 = 2r^2 - 2r^2 \cos 2\beta_2$ – відстані від миттєвого центру швидкостей до точки контакту A , м; r – радіус шматка породи, м.

Якщо підставимо значення l_1 та l_2 у формулу (3.13), то отримаємо:

$$\Delta = 1,414r[(1 - \cos 2\beta_1)^{0,5} - (1 - \cos 2\beta_2)^{0,5}]. \quad (3.14)$$

Межа міцності породи на стискання за законом Гука дорівнює [14]:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (3.15)$$

де $\varepsilon = \frac{\Delta}{l_1}$ - відносна деформація шматка; E – модуль пружності породи, Па.

Шматок зруйнується лише за умови досягнення межі міцності його матеріалу, тому величина максимальної деформації шматка повинна задовольняти деформації руйнування:

$$\varepsilon_{\max} = 1 - \sqrt{\frac{1 - \cos 2\beta_2}{1 - \cos 2\beta_1}}. \quad (3.16)$$

Звідси випливає, що величина деформації руйнування буде залежати від положення молотка відносно шматка, який переміщається по відбійній плиті, та від розміру шматка.

З огляду на це, можна рекомендувати такі раціональні області використання вказаних режимів удару [13]:

- для руйнування крупних шматків потрібні значні ударні зусилля, тому туи більше підходить режим прямого удару;
- шматки середніх розмірів для реалізації підвищеного ступеня дроблення краще руйнувати ковзними ударами.

У рамках цього дослідження була запропонована конструкція молотка та його розміри, що задовольняють викладеним вище вимогам руйнування породи (рис. 3.18) [13].

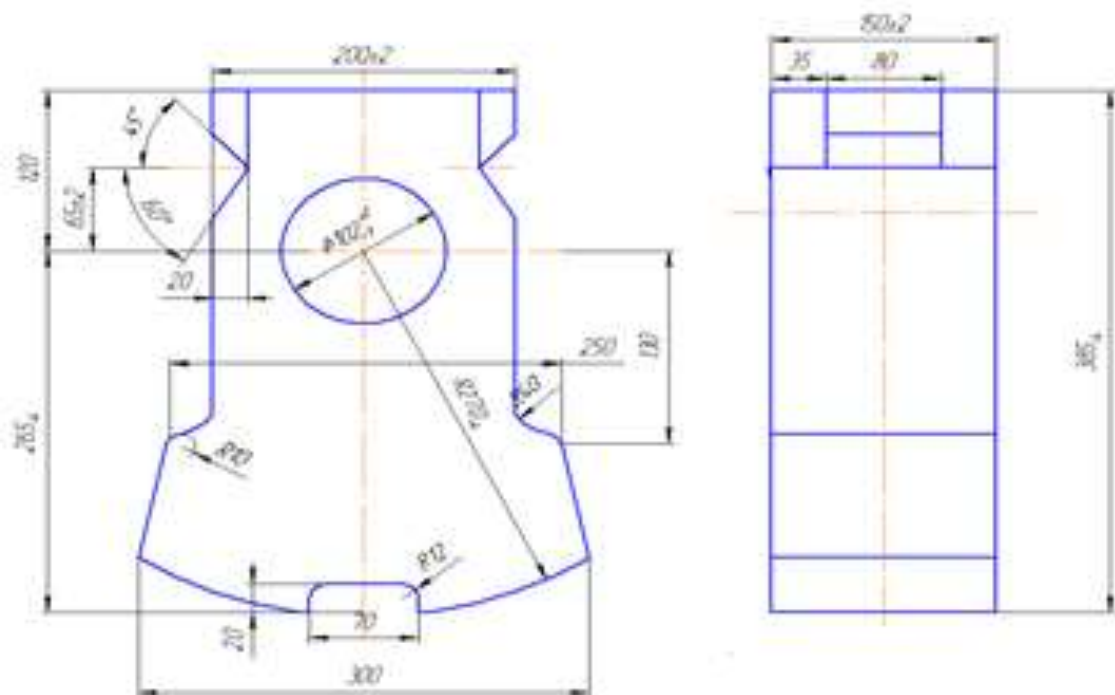


Рисунок 3.18 – Пропонована конструкція молотка

Для математичної моделі, що описує вплив ковзного удару на руйнування шматка породи у робочій камері молоткової дробарки, можна задати початковий кут β_1 контакту молотка зі шматком і визначити кут β_2 , при якому відбудеться руйнування шматка. Таку операцію можна виконати для різних значень маси молотка.

Наприклад, якщо шматок породи має діаметр 100 мм, то для нього графічним способом можна визначити, що $\beta_1 = 80^\circ$. У табл. 3.2 приведені розрахункові параметри для шматка такого розміру і молотків масою від 50 до 100 кг, для яких зміщення центру інерції шматка повинно складати від 0,017 до 0,025 мм. За формулою (3.16) отримаємо, що кут β_2 змінюватиметься від 40 до 70° , а найкраще руйнування породи відбуватиметься при масі молотка 80 кг (результати виділені у таблиці жирним шрифтом) [13].

З цього розрахунку можна також вивести залежності ступеня дроблення i від маси молотка m_1 та енергоємності N процесу руйнування від маси ротора m_2 :

$$m_1 = 0,84 + 0,5i, \quad (3.17)$$

$$m_2 = 10,3N - 0,012. \quad (3.18)$$

Таблиця 3.2 – Розрахункові параметри при діаметрі шматка породи 100 мм

Маса молотка, кг	Коефіцієнт взаємозв'язку мас молотка і шматка	Максимальна деформація породи, м	Кут руйнування β_2 , град.	Ширина молотка, мм	Маса ротора, кг	Потужність дробарки, кВт
50	0,704	0,0145	48	110	11520	379
60	0,702	0,0162	54	132	11780	388
70	0,699	0,0173	57	175	11990	394
80	0,697	0,0181	62	208	12170	400
90	0,696	0,0192	63	241	12390	408
100	0,695	0,0193	63,5	278	12620	414

Описана теорія руйнування була перевірена шляхом комп'ютерного моделювання у програмі ANSYS 11.0. В якості гірничої породи був вибраний глини-

стий боксит з наступними властивостями: густина – $\rho = 2,87 \text{ т/м}^3$, міцність – $f = 8$, модуль Юнга – $E = 3 \cdot 10^8 \text{ Па}$, коефіцієнт Пуасона – $\mu = 0,3$, розмір шматка для прямого удару – $d = 300 \text{ мм}$, розмір шматка для ковзного удару – $d = 100 \text{ мм}$. Сталевий молоток мав такі параметри: $m_1 = 50\text{-}100 \text{ кг}$, густина – $\rho = 7,85 \text{ т/м}^3$, модуль Юнга – $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; ротор дробарки: діаметр – $D = 1700 \text{ мм}$, частота обертання – $n = 590 \text{ об/хв}$. [13].

Під час моделювання особлива увага приділялася випадку, коли шматок породи затискається між молотком і відбійною плитою. При цьому у шматку з міцністю породи 300 МПа з'являються дільниці з навантаженням до 341 МПа, в яких розвиваються тріщини шириною 1,5 мм при прямому ударі і 1 мм – при ковзному (рис. 3.19) [13].

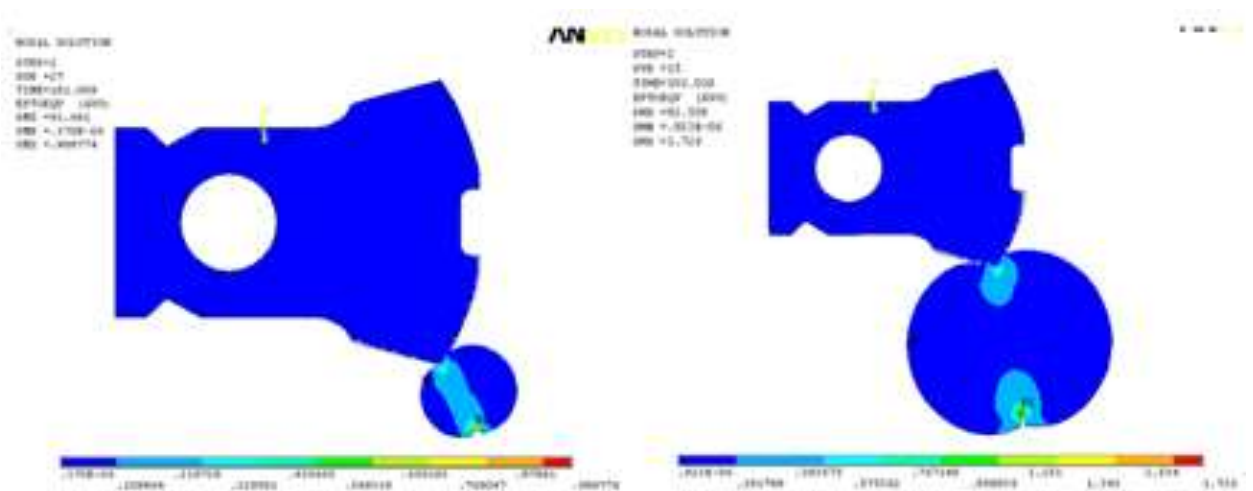


Рисунок 3.19 – Характер деформації шматків породи при комп'ютерному моделюванні ударного руйнування:
а – ковзний удар; б – прямий удар

Результати моделювання дають можливість обґрунтовано вибрати геометричні параметри молотка у залежності від розміру шматка для створення найбільш сприятливих умов для його руйнування.

Висновки:

- аналіз особливостей роботи молоткових дробарок показує, що переважно

ударний тип руйнування породи у цих конструкціях дає подрібнений матеріал у вигляді шматків з дуже невеликим вмістом пилу. Молоткові дробарки відрізняються високим ступенем подрібнення, що може досягати 50, а в деяких випадках і вище. Внаслідок цього вони набагато компактніші у порівнянні, наприклад, з установками щокowego або конусного типу, потребують менших витрат енергії на дроблення одиниці матеріалу, більш дешеві. Дробарки молоткового типу надзвичайно універсальні і придатні для руйнування найрізноманітніших за своїми фізико-механічними властивостями матеріалів;

- головним недоліком молоткових дробарок слід вважати досить швидке зношення молотків і футеровки під час дроблення абразивних матеріалів;

- основними параметрами молоткової дробарки є продуктивність дроблення, геометричні розміри ротору, швидкість його обертання, максимальний розмір шматків живлячого матеріалу та ступінь подрібнення установки. Проведені у роботі дослідження дозволили визначити вплив цих та інших факторів на ефективність процесу дроблення гірничої маси у молоткових дробарках;

- теоретичні та експериментальні дослідження процесу динамічної взаємодії молотка дробарки зі шматком подрібнюваного матеріалу дали можливість обґрунтовано вибирати геометричні параметри молотка у залежності від розміру шматка для створення найбільш сприятливих умов для його руйнування.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОВЕДЕНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Раціональні експлуатаційні та конструктивні параметри молоткових дробарок для підвищення ефективності процесу дроблення мінеральної сировини

4.1.1 Вибір режиму руйнування шматків матеріалу

У пункті 3.4 цієї роботи було розглянуто особливості процесу динамічної взаємодії молотка зі шматком матеріалу, що подається у молоткову дробарку. Проведений аналіз дозволив виділити два основних режими ударного руйнування шматків під час їх зустрічі (за рахунок реалізації прямого і ковзного удару молотка по шматку) та окреслити найбільш раціональні сфери застосування цих режимів. Вони зводяться до наступного [13]:

- крупношматковий матеріал краще дробити за допомогою прямих ударів молотка (спрямованих у зону, близьку до центру шматка), тому що для ефективного руйнування необхідні значні ударні навантаження, які створюють у шматку напруження, що перевищують межу міцності його матеріалу;
- матеріал зі шматками середнього розміру доцільніше руйнувати у режимі ковзного удару, який забезпечує підвищений ступінь дроблення.

4.1.2 Забезпечення раціонального режиму розвантаження дробарки

Свого часу на Електростальському заводі були проведені всебічні промислові дослідження молоткових дробарок різних типів. В результаті випробувань було виявлено, що найкращу ефективність процесу дроблення забезпечує використання зазору клиноподібної форми між молотками ротора і колосниками решітки, який звужується у напрямку о вихідного кінця колосникової решітки [11].

Але у дробарках звичайних конструкцій зазор такої форми можливий лише для нових колосників. У процесі ж експлуатації вони інтенсивно зношуються і

зазор зростає, особливо у нижній частині колосникової решітки. Тобто клиноподібна форма зазору швидко втрачається, адже менш зношені колосники на початку решітки не дають можливості їй наближення до кінців молотків обертового ротора. Внаслідок цього ефективність дроблення у міру зношення колосників знижується.

Усе це послужило причиною створення дробарки, схема якої показана на рис. 4.1 [11]. Це однороторна нереверсивна установка, що має удосконалену конструкцію колосникової решітки, яка дозволяє регулювати як величину, так і форму зазору між ротором і колосниковою решіткою. Це досягається виконанням решітки у вигляді двох секцій, з'єднаних шарніром.

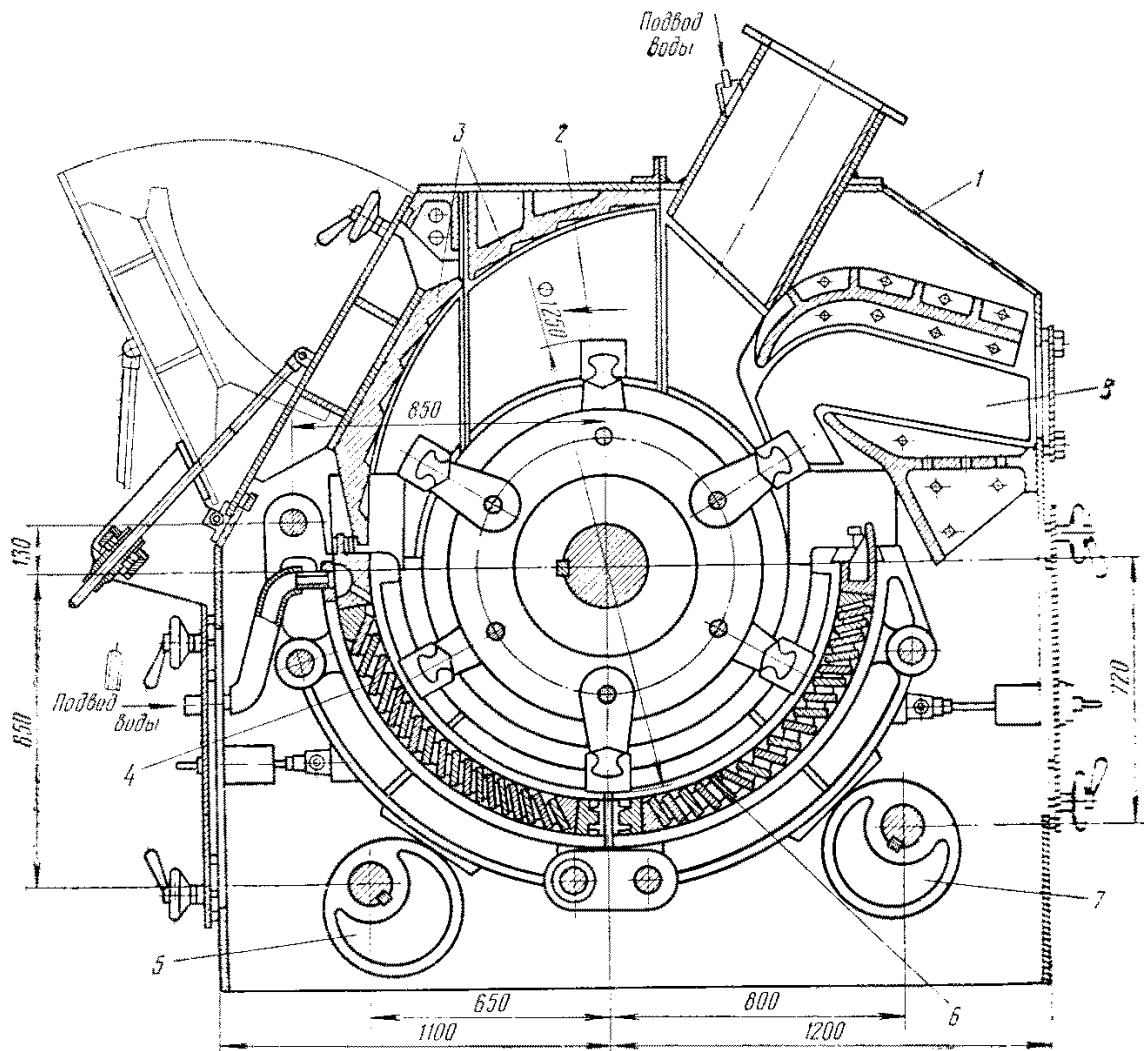


Рисунок 4.1 – Схема однороторної нереверсивної молоткової дробарки:
 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – відбійні плити; 4, 6 – відповідно перша і друга секції колосникової решітки; 5, 7 – механізми регулювання відповідно першої і другої секцій колосникової решітки; 8 – відсік для тіл, що не дробляться

У табл. 4.1 приведена технічна характеристика цієї дробарки [11].

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика молоткової однороторної нереверсивної дробарки Електростальського заводу

Показник	Значення
Діаметр ротора по кінцях молотків, мм	1250
Робоча довжина ротора, мм	1000
Швидкість обертання ротора, об/хв.	1000
Матеріал, що подрібнюється	Карбонатна марганцева руда та промпродукти окисної глинистої марганцевої руди
Розмір шматка у живленні, мм	до 60
Крупність дробленого продукту, мм	0-3
Вміст класу 0-3 мм у готовому продукті, %	75-90
Число поздовжніх рядів молотків на роторі	6
Загальна кількість молотків	21
Маса молотка, кг	39,7
Продуктивність, т/г	100
Потужність електродвигуна, кВт	250
Маса дробарки без електродвигуна, кг	20000

Дроблення матеріалу у дробарці здійснювалося у мокрому режимі (співвідношення дробленого продукту до води було 1:5). Вологість карбонатної марганцевої руди становила 27,8%, окисної марганцевої руди – 26,5%, а вміст глини – 29,7%. Як бачимо, умови роботи для дробарки молоткового типу були не дуже сприятливими, а вода подавалася для того, щоб полегшити дроблення доволі глинистого матеріалу.

Дробарка складається з корпусу 1, ротора 2, відбійних плит 3, секцій колосникової решітки 4 і 6, механізмів регулювання положень цих секцій 5 і 7 та відсіку для предметів, що не дробляться (рис. 4.1).

Ротор дробарки складається з окремих дисків, які кріпляться на валу за допомогою шпонки. Між ними у шаховому порядку шарнірно підвішені молотки. Конструкція молотків розбірна, зі знімними бойками, виконаними зі зносостійкої

сталі. Під час роботи бойок рівномірно зношується по усій своїй ширині. Вал ротора обертається у двох самоустановлюваних підшипниках кочення.

Кожна секція колосникової решітки складається з двох рам з пазами для укладання колосників. Одна секція своєю верхньою частиною підвішена на осі, а друга – на кінці першої. Середні частини обох секцій спираються на ексцентрики. У нижній частині секції з'єднуються між собою за допомогою шарніру. Колосники на решітці встановлюються у похилому положення для забезпечення ефективного розвантаження готового продукту із зони дроблення. Зазор між колосниками може змінюватися за рахунок установки прокладок у трьох можливих варіантах: 8, 12 і 15 мм.

На рис. 4.2 показані доступні варіанти змінення форми зазорів між колосниками та кінцями обертових молотків ротора [11].

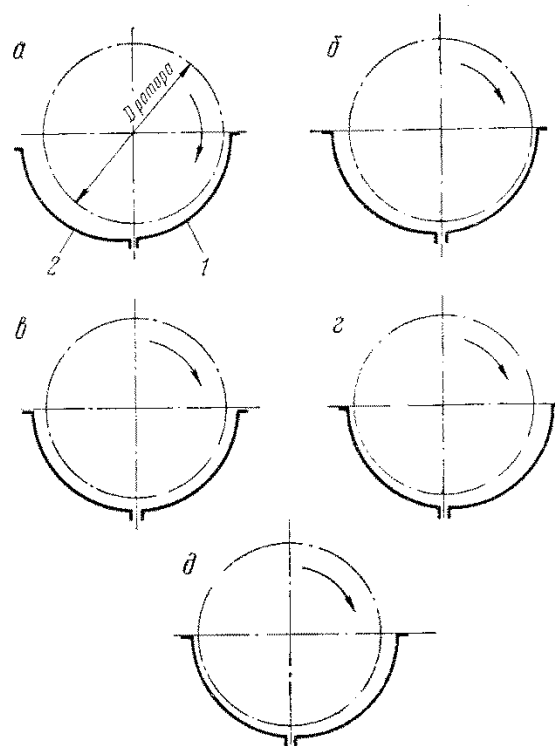


Рисунок 4.2 – Можливі варіанти установки зазорів між молотками і колосниковою решіткою:
1, 2 – відповідно перша і друга секції колосникової решітки

Форма зазору може бути клиноподібною з розширенням до кінця решітки (рис. 4.2а); з розширенням на першій секції у напрямку обертання ротора і постій-

ного розміру на другій (рис. 4.2б); постійного розміру по усій довжині колосникової решітки (рис. 4.3в); клиноподібною із звуженням до кінця решітки (рис. 4.2г); постійного розміру на першій секції і зі звуженням на другій (рис. 4.2д).

Вибір форми зазору здійснюється дослідним шляхом у залежності від міцності подрібнюваного матеріалу та потрібної крупності готового продукту. Для змінення форми і розміру зазору, а також для підтримки постійного зазору у процесі зношення колосників на кожній секції решітки передбачені індивідуальні регульовальні механізми. Вони виконані у вигляді ексцентриків, насаджених на вал, який обертається від важільно-гвинтового приводу.

Слід також пам'ятати, що для забезпечення якості процесу дроблення ширина щілини між колосниками решітки на її внутрішній поверхні має бути приблизно у 1,5-2 рази більшою за розмір шматків дробленого продукту

4.1.3 Обґрунтування конструкцій молотків і ротора

Робочим органом молоткової дробарки є її обертовий ротор, який складається з валу, дисків та молотків. Це найбільш уразливий конструктивний елемент установки, що потерпає від високодинамічних ударних навантажень та абразивного зношення під час експлуатації. Наприклад, у залежності від типу перероблюваного матеріалу, термін служби молотків молоткової дробарки, яка використовується для руйнування порід міцністю до $f = 12$ за шкалою проф. М.М. Протод'яконова, складає від 170 до 530 годин, що потребує до 20 технічних обслуговувань обладнання протягом року [13]. Витрати високоякісного металу молотків можуть досягати величини у 0,015 кг на тонну перероблюваного матеріалу [1]. Тому удосконалення конструктивного виконання та підвищення надійності цього органу є дуже важливим завданням. Вирішити його можна за рахунок обґрунтування раціональної конструкції ротора та максимального підвищення ресурсу молотків. Зокрема, останні обов'язково мають відповідати вимогам забезпечення високого коефіцієнту використання металу та його якості (насамперед, високої зносостійкості та ударної в'язкості).

Молотки на роторі дробарки зазвичай встановлюються у два, чотири, шість

і більше поздовжніх рядів. Чим більше рядів, тим менше проміжки між ними. Самі молотки можуть бути різного ступеня масивності. Проміжки між молотками у ряду також можуть бути різними.

Тому для крупного дроблення крупношматкового матеріалу доцільніше використовувати менше число рядів важких молотків, що встановлені у ряду на певній відстані, адже для руйнування масивних шматків знадобляться удари великої потужності, шматки мають встигати занурюватися у зону дроблення на потрібну глибину, а продукти дроблення повинні швидко евакуюватися з дробарки. Якщо глибина проникнення крупного шматка буде недостатньою через дефіцит часу для його просування між рядами молотків, то він буде потрапляти лише під дію ковзних ударів, яких для його руйнування, як це було з'ясовано вище (див. п.п. 3.2 і 3.4), недостатньо.

Для дрібного дроблення, навпаки, кількість рядів молотків має бути більшою, проміжки між ними меншими, а самі молотки – більш легкими. У цьому випадку потрібно забезпечити максимальне число відносно легких ударів молотків по численних шматках подрібнюваного матеріалу.

Проте, слід зауважити, що у разі значної кількості близько розташованих один відносно іншого молотків подрібнення матеріалу буде більш інтенсивним, з утворенням значної кількості дріб'язку та пилу.

Для підвищення терміну служби молоткової дробарки доцільним рішенням є відмова від кільцевого положення молотків і перехід до шахового розташування, яке має захистити їх від прямого впливу шматків гірничої породи. При кільцевій установці молотків у проміжки між ними можуть вільно пролітати значні за крупністю фракції породи, а під час удару молотків по крупних шматках зворотне відскакування і удари по дисках призводять до ушкодження останніх та інших деталей ротора. Відновлення є їх (наприклад, наплавленням) розбалансовує ротор і стає причиною відмов його підшипникових вузлів та електроприводу. Припустимий кут повороту молотків під час зворотного руху після удару не повинен перевищувати 80-90% максимально можливого.

Виходом з цього положення й може стати змінення конструкції ротора шля-

хом установки молотків у різних площинах (рис. 4.3) [13].

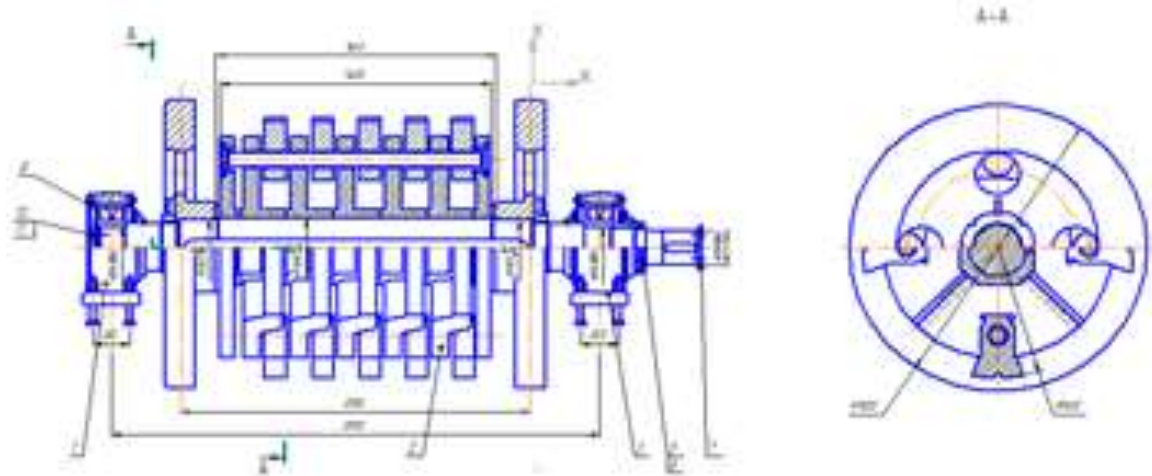


Рисунок 4.3 – Ротор молоткової дробарки з шаховим розташуванням молотків:
a – схема; *б* – загальний вигляд

Таке конструктивне виконання ротора забезпечує перекриття зони падіння шматків, усуває удари їх по торцям дисків, а молотки мають можливість провертатися на кут до 360° і не битися об диски. Усе це сприяє підвищенню ресурсу ротора та знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій. У табл. 4.2 приведений порівняльний аналіз традиційної та пропонованої схем установки молотків на дисках ротора молоткової дробарки [13].

Таблиця 4.2 – Порівняльний аналіз різних конструктивних схем ротора молоткової дробарки

Показник	Схема установки молотків	
	Кільцева	Шахова
Поворот валу ротора, град.	90	45
Частота обертання валу ротора, хв^{-1} (с^{-1})	590 (9,8)	750 (12,5)
Час між ударами, с	0,026	0,013
Шлях, що проходить шматок породи, м	0,0052	0,0017
Кількість молотків, шт.	40	20
Маса одного молотка, кг	55	80
Загальна маса молотків, кг	2200	1600
Кількість дисків, шт.:		
крайнього	2	2
проміжного	9	5
усіх	11	7
Маса дисків, кг:		
крайнього	750	750
проміжного	890	1276
усіх	9510	7880
Загальна маса ротора, кг	14356	12174
Потужність двигуна, кВт	400	400
Продуктивність, т/г	290	370
Зусилля дроблення, кН:		
загальне	7,62	5,99
одного молотка	0,76	1,2
Розподілене навантаження на валу, кН	104,2	89,1
Максимальний згинальний момент, кН·м	83,3	71,2
Крутний момент, кН·м	6,48	5,09
Величина сили, що діє на диск, кН	132,6	336,5
Товщина диска, мм	62	105
Запас міцності диску	5,34	4,5
Коефіцієнт запасу міцності валу:		
за нормальними напруженнями	8,1	8,8
за дотичними напруженнями	20,3	27,2
загальний	7,52	8,4

Результати порівняльного аналізу свідчать, що у пропонованому варіанті розташування молотків ресурс дробарки збільшується у 1,5 рази, а навантаження

на підшипникові вузли і вал ротора, навпаки, знижуються. Усе це, безсумнівно, позитивно позначиться на показниках надійності дробарки.

На рис. 4.4 показані моделі напружено-деформованого стану конструктивних елементів робочого органу дробарки [13]. Моделі побудовані за допомогою комп'ютерного пакету Solid Works. На них можна побачити рівні деформацій і напружень, що виникають в елементах ротора для різних видів ударів при різних положеннях молотків. Побудовані моделі свідчать, що напруження при шаховому розташуванні молотків у 3 рази менші, ніж при кільцевому, і в жодному разі не перевищують допустимих значень.

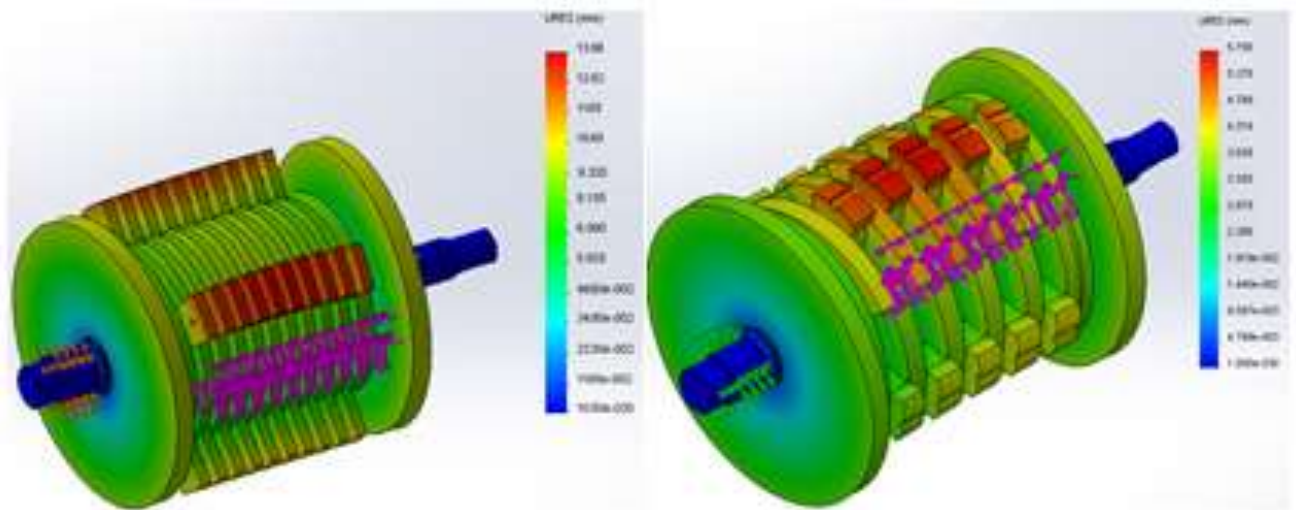


Рисунок 4.4 – Розрахункові моделі роторів
з різними схемами розташування молотків:
а – кільцевою; *б* - шаховою

На рис. 4.5 представлені графіки показників безвідмовної роботи роторів обох типів, отримані за допомогою методу кореляційно-регресивного аналізу результатів обробки статистичних даних щодо відмов елементів робочих органів роторів з кільцевим та шаховим розташуванням молотків [13].

4.1.4 Шляхи підвищення довговічності молотків

Для підвищення довговічності молотків при шаховій схемі їх розташування на роторі молоткової дробарки запропонована конструктивна схема, описана ви-

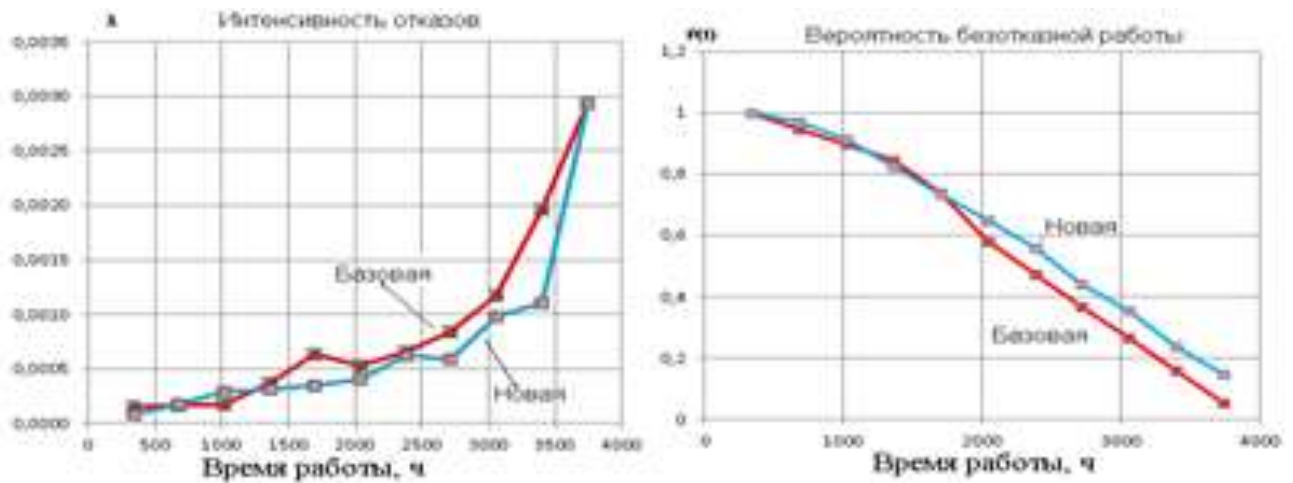


Рисунок 4.5 – Графіки показників безвідмовної роботи роторів обох типів

ще у п. 3.4 і показана на рис. 3.18. Конфігурація і розміри молотка повністю задовольняють умовам раціонального руйнування шматків породи та забезпечення припустимого кута відскакування після удару.

Дуже важливим заходом підвищення ефективності роботи молоткових дробарок є забезпечення високого рівня опору молотків абразивному зношенню подрібнюваним матеріалом. Величина зношення може вимірюватися десятками і навіть сотнями міліметрів, від чого страждають продуктивність та якість дроблення. В умовах, коли абразивне зношення поєднується зі значними питомими ударними напруженнями, які досягають величини у 60 МПа, навіть така зносостійка сталь, як 110Г13Л із зміцненням до твердості 450-500 НВ поверхневим шаром глибиною до 30-40 мм, не витримує більше 30 днів експлуатації, причому до 15% маси молотків зношується вже протягом перших трьох днів роботи. На рис. 4.6 показані послідовність та інтенсивність молотків, виконаних за формою на рис. 3.18. Усе це призводить до різкого падіння якості дроблення та появи значних динамічних вібрацій установки [13].

Проблема підвищення зносостійкості сталі 110Г13Л має важливе практичне значення. Традиційні методи механічного поверхневого зміцнення деталей (наприклад, дробоструминний наклеп, звичайне та вібраційне обкатування, карбування, алмазне вигладжування та інші) малоефективні через незначну глибину обробки металу (до 2-4 мм) і низьку продуктивність процесів. Проте задача може бути

вирішена за допомогою методу зміцнення робочих поверхонь молотків за допомогою вибуху. При його використанні вибухівка, певним чином накладена на молоток, під час вибуху створює у зоні поверхні деталі зону, в якій тиск може досягати сотень і тисяч паскалей. Ударний фронт вибухової хвилі проникає у метал і зміцнює його на глибину до 20 мм.

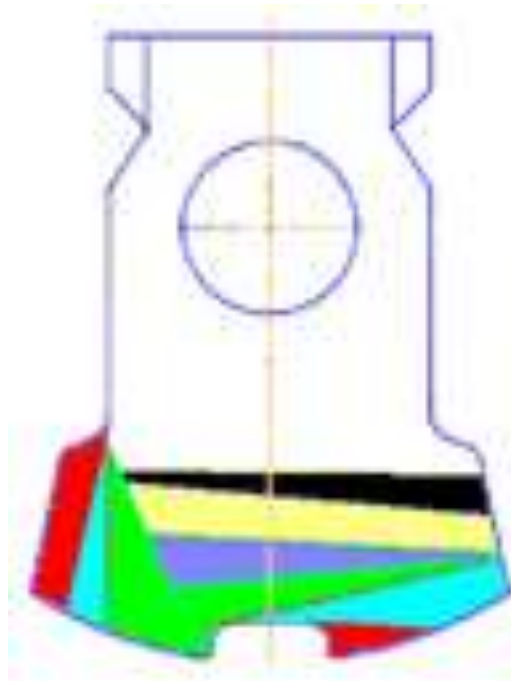


Рисунок 4.6 – Послідовність та інтенсивність зношення молотка:

1 – термін експлуатації – 5 днів; 2 – 10 днів; 3 – 15 днів;
4 – 20 днів; 5 – 25 днів; 6 – 30 днів (максимальне зношення)

В якості вибухової речовини (ВР) використовувався порошкоподібний гексоген. Деталі під час вибухового зміцнення укладалися на постіль зі свинцевої стружки, яка запобігала їх руйнуванню і забезпечувала досягнення високої твердості та ударної в'язкості. Проведені випробування з метою оцінки необхідної кількості вибухівки дали можливість визначити, що оптимальна витрата ВР на комплект молотків складає 1,6 кг. На рис. 4.7 показані графіки залежності твердості поверхневого зміцнення та його глибини від кількості ВР [13].

Зміцнення молотків за допомогою описаного методу дає можливість підвищити твердість поверхневого шару їх робочих поверхонь до 600-1000 НВ, збільшити його глибину до 20 мм та отримати зростання довговічності молотків не менше, ніж на 40% [13].

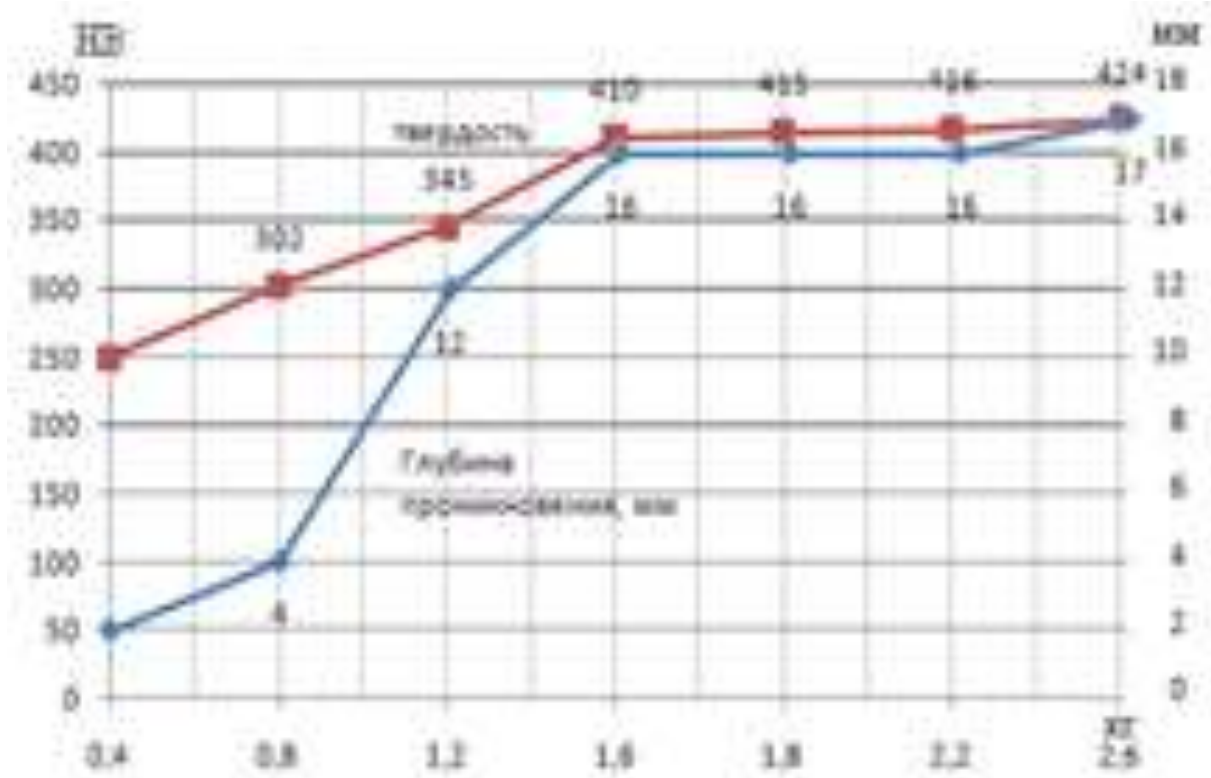


Рисунок 4.7 – Графіки залежності твердості поверхневого зміцнення молотків та його глибини від кількості ВР

4.2 Рекомендації щодо монтажу та експлуатації молоткових дробарок

4.2.1 Монтаж і підготовка до роботи

Молоткові дробарки потрібно встановлювати на високих і порожнистих фундаментах, розміри яких визначаються з урахуванням необхідності розміщення під дробаркою тих чи інших транспортних засобів для прийому готового продукту. Оскільки під час роботи такої високошвидкісної машини, як молоткова дробарка, можуть виникати вібрації (наприклад, у разі порушення балансування ротора або від сил інерції, що розвиваються циркулюючим у дробарці навантаженням), тому маса фундаменту має бути достатньо великою для їх компенсації.

Значні швидкості обертання роторів та відцентрові сили інерції, що виникають при цьому, вимагають обов'язкового балансування цих вузлів. Особливо це стосується установок, що призначені для дроблення матеріалів високої міцності. Вони, як правило, постачаються роторами посиленої конструкції з маховиками, які використовуються для згладжування пікових навантажень.

Балансування здійснюється під час виготовлення дробарки, а також періодично у процесі її експлуатації, адже через зношення молотків воно постійно порушується. Заміна будь-яких обертових деталей, що вийшли з ладу, також потребує контролю балансування.

Статичне балансування роторів молоткових дробарок виконують з молотками і без них. Під час виготовлення дробарок балансування виконують на призмах. Для зменшення коефіцієнту тертя кочення на цапфи валу надівають спеціальні гартовані втулки з товщиною стінок 10-15 мм. У процесі експлуатації таке балансування не використовується, тому що потребує демонтажу ротора. З огляду на це, воно замінюється на зважування комплектів поздовжніх рядів молотків, що знаходяться на протилежних сторонах ротора. Сумарна допустима різниця у вазі має при цьому бути не більше спеціально установлених меж [11].

При експлуатації дробарок на високих окружних швидкостях статичного балансування недостатньо. У цих випадках воно замінюється на динамічне, яке здійснюється без розбирання ротора, за допомогою спеціального вібровимірювального обладнання.

Якщо ж такого немає, можна обійтися наступним способом, що реалізується у такій послідовності:

- кожен молоток зважується і для нього визначається відстань від центра ваги до осі його підвісу;
- потім молотки з однаковими показниками групують у комплекти (кількість молотків у комплекті дорівнює кількості поздовжніх рядів молотків на роторі, а кількість комплектів – кількості кругових рядів молотків);
- нарешті ці комплекти монтуються на роторі, причому найважчі з них мають бути розміщені у кругових рядах, які знаходяться ближче до опор ротора.

Під час роботи молоткової дробарки вал ротора прогинається від ваги останнього, наявного неурівноваження та від навантажень подрібнюваним матеріалом. Це впливає на величину опору повертання валу у цапфах підшипників і для його подолання використовуються самоустановлювані конструкції останніх. Найкраще у таких випадках показують себе сферичні дворядні роликові підшипники

кочення (зокрема, серії 3000). Змащення підшипникових вузлів може бути консистентними закладними мастилами, але найкращим варіантом є рідинне централізоване змащення. На рис. 4.8 показаний підшипник валу ротора, що працює з таким змащенням [11]. Масло з малою в'язкістю подається у підшипник зверху і по каналу у верхній кришці розподіляється у бічні порожнини підшипника. Відведення масла забезпечується у нижній частині підшипникового вузла.

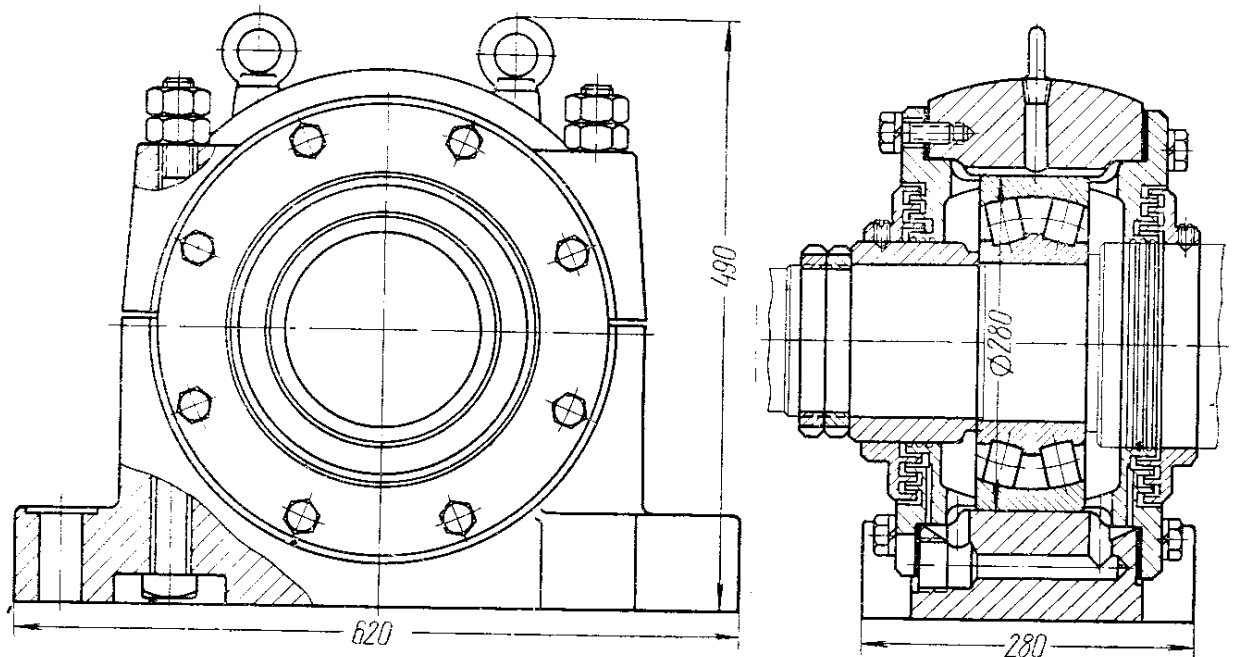


Рисунок 4.8 – Підшипник валу ротора, що працює на рідинному централізованому змащенні

Підшипникові вузли потрібно ретельно ущільнювати, найкращим варіантом буде безконтактне комбіноване лабіринтно-канавкове ущільнення. Доцільно також постачати їх температурними реле або термометрами для контролю температури нагріву підшипників.

Внаслідок високої швидкості молоткових дробарок у процесі роботи переміщаються значні обсяги повітря, що призводить до запиленості робочого приміщення. Тому дробарки повинні обладнатися відповідними системами вентиляції.

За рівнем шуму, який створюють працюючі дробарки молоткового типу, їх

потрібно встановлювати у таких приміщеннях, де поблизу немає постійних робочих місць.

Для забезпечення нормальної роботи дробарки і попередження її серйозних аварій потрібно забезпечити уловлювання і відділення від потоку матеріалу, що завантажується у машину, усіх без виключення предметів, що не дробляться.

Перед пуском молоткової дробарки необхідно перевірити:

- кріплення шківів, півмуфт, підшипників, молотків та їх осей, дисків ротора та інших з'єднань;
- наявність мастила у підшипникових вузлах;
- вільне обертання ротора (прокручуванням його);
- стан кріплення відбійних плит;
- технічний стан приводних пасів, з'єднувальних міфт, завантажувальних та розвантажувальних жолобів;
- щільність закриття люків.

Лише після цього допускається вмикання електроприводу дробарки. Якщо у конструкції установки є вбудовані конвеєри, то спочатку вмикаються їх приводи, потім двигуни очисних пристроїв, а в останню чергу – привод ротора.

У разі появи під час пуску дробарки ненормальних стуків або інших несправностей потрібно зупинити машину, виявити та усунути причину несправності.

4.2.2 Використання за призначенням

Завантаження молоткової дробарки матеріалом здійснюється лише після розгону ротора до робочого числа обертів.

Під час роботи машини необхідно постійно слідкувати за:

- станом завантажувальних та розвантажувальних ліжок;
- рівномірністю завантаження дробарки матеріалом;
- крупністю матеріалу живлення та готового продукту;
- станом і роботою системи змащення.

У процесі роботи не можна відкривати стінки або люки корпусу установки.

Якщо у процесі роботи крупність готового продукту перестане відповідати заданій, необхідно виконати дії із нижче перерахованих:

- змінити величину зазору між молотками ротора та колосниковою решіткою;
- перевернути спрацьовані молотки або замінити їх на нові;
- змінити швидкість обертання ротора. Для зменшення крупності готового продукту необхідно збільшити швидкість і навпаки;
- перебрати колосникову решітку і змінити величину зазору між колосниками.

Перед зупинкою машини слід зупинити процес її завантаження. Вимикати привод дробарки можна лише після того, як матеріал перестане поступати у дробарку із завантажувальної лійки. Потрібно також перед зупинкою прослухати роботу машини на холостому ході для виявлення можливих несправностей обладнання.

Після зупинки дробарки усі її зовнішні частини потрібно очистити від пилу і бруду, а колосникову решітку – від матеріалу, що її забиває. Під час виконання цих операцій слід оцінити стан молотків, колосників, відбійних плит та футерівок.

У табл. 4.3 приведені основні несправності молоткових дробарок та способи їх усунення [11].

4.2.3 Технічне обслуговування

Усі механізми дробарки потрібно ретельно оглядати мінімум чотири рази на рік, а у перші три місяці після пуску – двічі на місяць. Усі помічені дефекти мають бути негайно усунуті.

Бажано періодично, використовуючи усі зупинки машини оглядати стан молотків, колосників та відбійних плит.

Заміну ущільнень підшипникових вузлів валу ротора слід виконувати згідно з наступними рекомендаціями:

- фетрові та повстяні кільця можуть працювати при швидкості ковзання не

Таблиця 4.3 – Основні несправності молоткових дробарок та способи їх усунення

Характер несправності	Можлива причина	Спосіб усунення
Підвищена вібрація дробарки у перші моменти пуску	Погане балансування ротора	Зняти молотки, підібрати їх за вагою таким чином, щоб загальна вага молотків одного ряду відповідала загальній вазі протилежного ряду
Стук у дробарці	Ослаблена кріплення відбійних плит або кришок підшипників, поламка молотка, його осі або диску ротора	Перевірка усіх кріплень та зазорів між молотками ротора і колосниками решітки. Заміна ушкоджених деталей, очищення робочої зони від будь-яких сторонніх предметів
Надмірний нагрів підшипників (рука не витримує більше 2-3 с)	Недостатність змащення, його забрудненість. Ушкодження підшипника	Перевірка та заміна мастила та підшипника
Зменшення швидкості обертання ротора, забивання дробарки матеріалом та її зупинка	Нерівномірна подача матеріалу. Перевантаження машини. Буксування приводних пасів. Забивання колосникової решітки	Відрегулювати подачу матеріалу. Натягнути паси. Очистити колосникову решітку.
Підвищення крупності готового продукту	Надмірне зношення молотків. Забивання або поламка колосникової решітки.	Перевернути або замінити молотки. Очистити або відремонтувати решітку.

більше 5-8 м/с. Перед установкою їх потрібно обов'язково просочити маслом, нагрітим до температури 80-90° С;

- шкіряні ущільнення допускають максимальну швидкість ковзання не більше 5 м/с, а температуру нагріву підшипника – не більше 65° С. Перед установкою

їх слід протягом 5-10 хвилин витримати у суміші мінерального масла і гасу (1:1), нагрітій до температури 50° С;

- для більших швидкостей ковзання (до 10-12 м/с) та більших температур нагріву підшипникових вузлів (до 120° С) потрібно використовувати ущільнення з маслостійкої гуми, які монтуються з натягом у 2-5 мм (у залежності від розміру ущільнення).

Висновки:

- з метою підвищення ефективності роботи дробарок молоткового типу рекомендується використовувати розроблені на основі багаторічного досвіду експлуатації заходи як конструкційного, так й експлуатаційного характеру. До них відносяться наступні: забезпечувати рівномірне завантаження дробарки живленням; вибір маси молотків, проміжків між ними, кількості поздовжніх рядів молотків на роторі та характеру режиму дроблення (центральної або ковзної удари молотків по шматках) виконувати у залежності від крупності та міцності перероблюваного матеріалу; для забезпечення раціонального режиму розвантаження дробарки застосовувати колосникові решітки з можливістю регулювання розміру та форми зазору між обертовими молотками та колосниками;

- аналіз проведених з метою удосконалення процесу руйнування гірничої маси у молоткових дробарках досліджень показав, що для цього бажано: віддавати перевагу конструкціям роторів з шаховим розташуванням молотків, які забезпечують перекриття зони падіння шматків та усувають удари їх по торцям дисків, що сприяє підвищенню ресурсу ротора та знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій; для підвищення довговічності молотків рекомендується підвищувати їх опір абразивному зношенню шляхом глибокого поверхневого зміцнення робочих поверхонь за допомогою вибуху. Це забезпечує підвищення твердості поверхневого шару робочих поверхонь молотків до 600-1000 НВ, збільшення його глибини до 20 мм та зростання довговічності молотків не менше, ніж на 40%;

- аналіз основних операцій монтажу та експлуатації молоткових дробарок дозволив сформулювати рекомендації щодо використання раціональних прийомів їх здійснення.

ВИСНОВКИ

Здійснені під час виконання магістерської роботи дослідження дозволили сформулювати наступні практичні рекомендації щодо підвищення ефективності експлуатації молоткових дробарок ударної дії:

- процеси дроблення і подрібнення мінеральної сировини є надзвичайно енергоємними і вартісними, адже вони потребують значної енергії на подолання опору мінеральної сировини. Тому задачі постійного удосконалення дробильно-подрібнювального обладнання, пошук і впровадження найбільш ефективних та економічних способів подрібнення, розробка найкращих способів і схем експлуатації дробарок і млинів різних типів і конструкцій є дуже важливими й актуальними і весь час повинні знаходитися у центрі уваги науковців, проєктантів, машинобудівників та виробничників гірничої галузі;

- процеси дроблення та подрібнення гірничої маси виконуються у декілька стадій і характеризуються показником ступеня дроблення та технологічною ефективністю переробки сировини;

- виконаний аналіз існуючого механічного обладнання для дроблення та подрібнення мінеральної сировини свідчить про наявність установок високого технічного рівня для переробки порід з різними фізико-механічними властивостями, але усі вони потребують постійного удосконалення для підвищення загальної ефективності дробильно-помольних робіт.

- аналіз особливостей роботи молоткових дробарок показав, що переважно ударний тип руйнування породи у цих конструкціях дає подрібнений матеріал у вигляді шматків з дуже невеликим вмістом пилу. Молоткові дробарки відрізняються високим ступенем подрібнення, що може досягати 50, а в деяких випадках і вище. Внаслідок цього вони набагато компактніші у порівнянні, наприклад, з установками щокowego або конусного типу, потребують менших витрат енергії на дроблення одиниці матеріалу, більш дешеві. Дробарки молоткового типу надзвичайно універсальні і придатні для руйнування найрізноманітніших за своїми фізико-механічними властивостями матеріалів;

- головним недоліком молоткових дробарок слід вважати досить швидке зношення молотків і футеровки під час дроблення абразивних матеріалів;

- основними параметрами молоткової дробарки є продуктивність дроблення, геометричні розміри ротору, швидкість його обертання, максимальний розмір шматків живлячого матеріалу та ступінь подрібнення установки. Проведені у роботі дослідження дозволили визначити вплив цих та інших факторів на ефективність процесу дроблення гірничої маси у молоткових дробарках;

- теоретичні та експериментальні дослідження процесу динамічної взаємодії молотка дробарки зі шматком подрібнюваного матеріалу дали можливість обґрунтовано вибирати геометричні параметри молотка у залежності від розміру шматка для створення найбільш сприятливих умов для його руйнування;

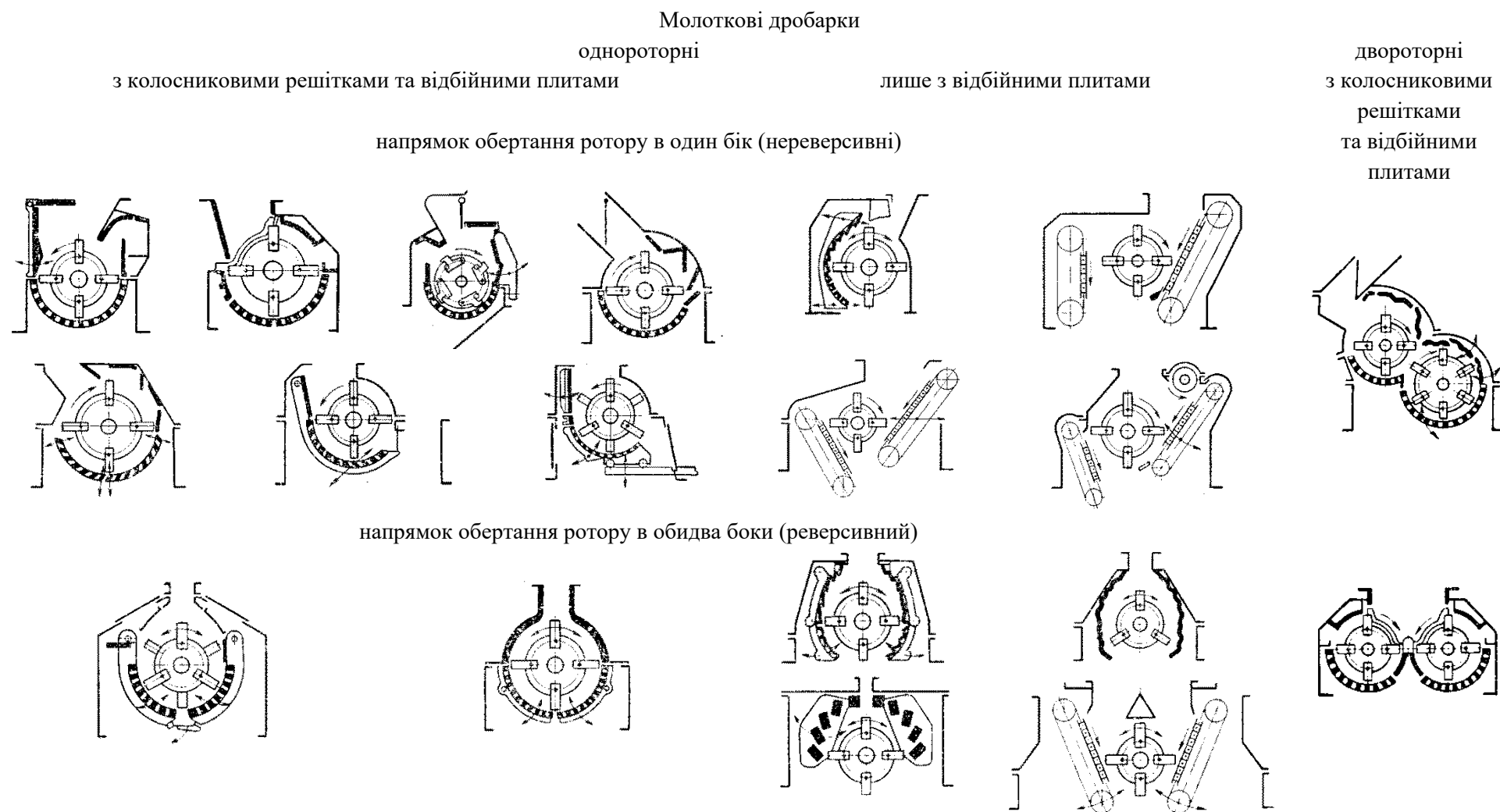
- з метою підвищення ефективності роботи дробарок молоткового типу рекомендується використовувати розроблені на основі багаторічного досвіду експлуатації заходи як конструкційного, так й експлуатаційного характеру. До них відносяться наступні: забезпечувати рівномірне завантаження дробарка живленням; вибір маси молотків, проміжків між ними, кількості поздовжніх рядів молотків на роторі та характеру режиму дроблення (центральні або ковзні удари молотків по шматках) виконувати у залежності від крупності та міцності перероблюваного матеріалу; для забезпечення раціонального режиму розвантаження дробарки застосовувати колосникові решітки з можливістю регулювання розміру та форми зазору між обертовими молотками та колосниками;

- аналіз проведених з метою удосконалення процесу руйнування гірничої маси у молоткових дробарках досліджень показав, що для цього бажано: віддавати перевагу конструкціям роторів з шаховим розташуванням молотків, які забезпечують перекриття зони падіння шматків та усувають удари їх по торцям дисків, що сприяє підвищенню ресурсу ротора та знижує ймовірність виникнення аварійних ситуацій; для підвищення довговічності молотків рекомендується підвищувати їх опір абразивному зношенню шляхом глибокого поверхневого зміцнення робочих поверхонь за допомогою вибуху. Це забезпечує підвищення твердості поверхневого шару робочих поверхонь молотків до 600-1000 НВ,

збільшення його глибини до 20 мм та зростання довговічності молотків не менше, ніж на 40%;

- аналіз основних операцій монтажу та експлуатації молоткових дробарок дозволив сформулювати рекомендації щодо використання раціональних прийомів їх здійснення.

Таблиця 3.1 – Основні конструктивні типи молоткових дробарок



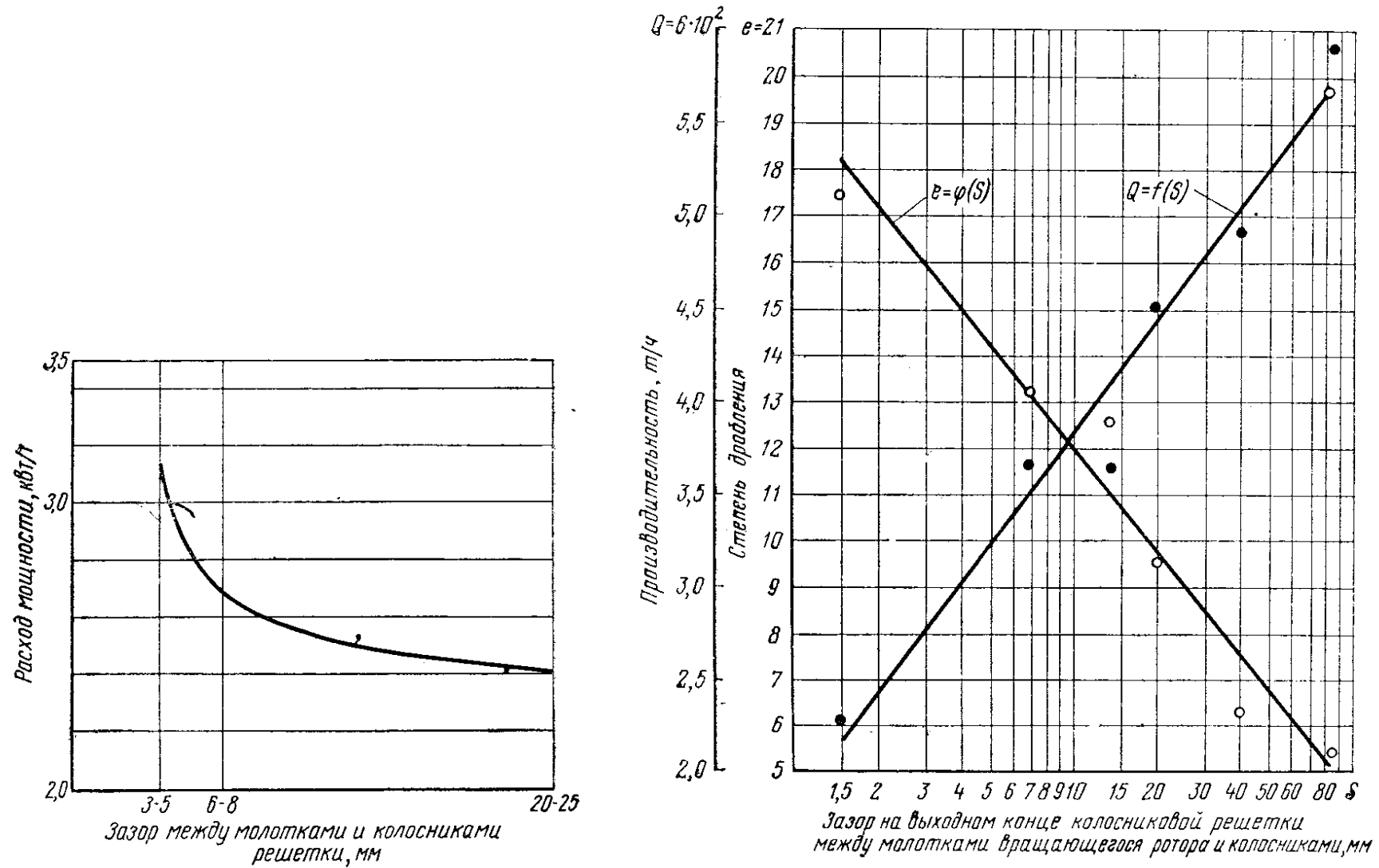


Рисунок 3.13 – Залежності витрат потужності N молоткової дробарки (а) та продуктивності Q і ступеня дроблення e молоткової дробарки (б) від величини зазору S між молотками обертового ротора та колосниками установки

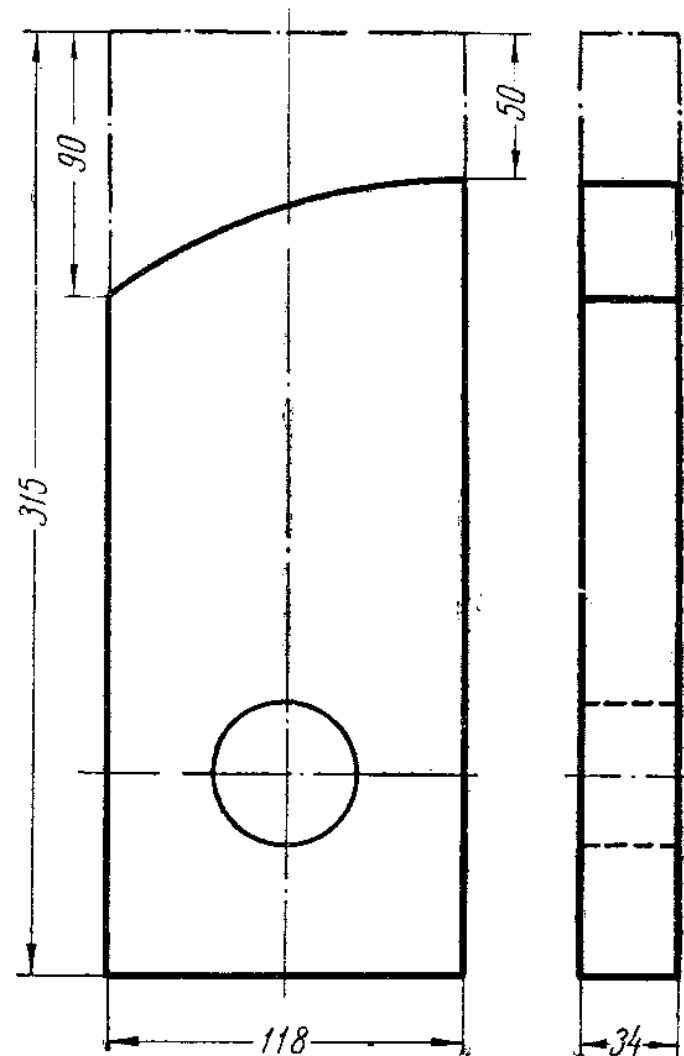
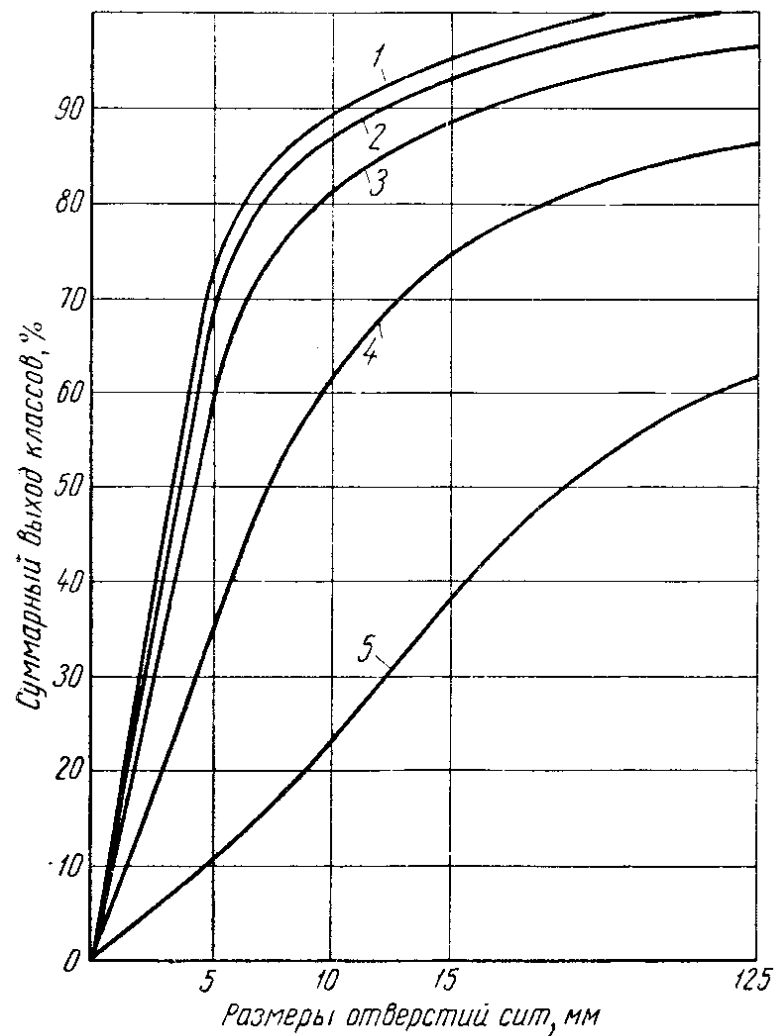


Рисунок 3.15 – Характер процесу зношення молотків під час дроблення бурого вугілля:

а – залежність крупності дробленого вугілля від ступеня зношення молотків: 1 – нові молотки; 2, 3, 4 – молотки після напрацювання відповідно 600, 1000 та 1600 годин; 5 – характеристика крупності вихідного вугілля;
б – допустиме зношення молотка при напрацюванні 1400 годин