

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

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему «ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ
МЕТАЛУРГІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ В МОЛОТКОВІЙ ДРОБАРЦІ»

Виконав: магістрант групи МБ-18мз

Хомицький А.С.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності 133- «Галузеве машинобудування»

(шифр і повна назва)

спеціалізація

(шифр і повна назва)

освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і повна назва)

Керівник Шевченко І.А.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Факультет металургії

Кафедра металургійного обладнання

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація _____

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Й.К. Огінський

“ _____ ” _____ 2019 року

ЗАВДАННЯ ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

Хомицький Андрій Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення процесу подрібнення металургійних матеріалів в молотковій дробарці

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

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

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







2. Термін подання студентом роботи _____

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

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

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

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

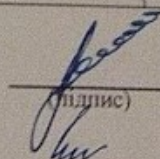
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шевченко І.А.		
2	Шевченко І.А.		
3	Шевченко І.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент


(підпис)

Хомицький А.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Шевченко І.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Хомицький А.С. Вдосконалення процесу подрібнення металургійних матеріалів молоткової дробарки.

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

В роботі проведено: аналіз стану питання по темі; дослідження конструктивних і технологічних параметрів на продуктивність і енергоємність процесу подрібнення; Дослідження впливу конструктивних параметрів на енергетичні показники подрібненого продукту.

За результатами проведених досліджень обґрунтовано перспективну конструкцію молоткової дробарки, що дозволяє подрібнювати матеріали з малою щільністю з досить мінімальними енерговитратами.

Обґрунтовано перспективну конструкцію молоткової дробарки, що дозволяє подрібнювати матеріали з малою щільністю з досить мінімальними енерговитратами.

Ключові слова: ДРОБАРКА, МОЛОТОК, РОТОР, РУЙНУВАННЯ, ЕНЕРГОВИТРАТИ, ЖИВИЛЬНИК, ДВИГУН, ЛОПАТИ, БУНКЕР, РЕШЕТА.

ABSTRACT

Khomitsky A.S. Improvement of the grinding process of metallurgical materials of the crusher.

Qualification of the VIP robot for the health level of the Master of Arts for specialty 133 – Galuzev machine engineering, science curriculum I.A.Shevchenko. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Metallurgy,

Department of Metallurgy Ownership, 2020.

In the work the following is conducted: analysis of the status of the question on the topic; study of design and technological parameters on the productivity and energy intensity of the grinding process; Investigation of the influence of design parameters on the energy performance of a detailed product.

According to the results of the researches the perspective design of the hammer crusher is grounded, which allows to grind materials with low density with rather minimal energy consumption.

The perspective design of the hammer crusher is grounded, which allows crushing of low-density materials with minimal energy consumption.

Keywords: CUTTER, HAMMER, ROTOR, RUINUVANNIA, ENERGOVITRATI, LIVESTOCK, MOVER, SHOVEL, BUNKER, RESET.

АННОТАЦИЯ

Хомицкий А.С. Совершенствование процесса измельчения металлургических материалов молотковой дробилки.

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

В работе проведены: анализ состояния вопроса по теме; исследования конструктивных и технологических параметров на производительность и энергоемкость процесса измельчения; Исследование влияния конструктивных параметров на энергетические показатели подробленного продукта.

По результатам проведенных исследований обоснованно перспективную конструкцию молотковой дробилки, что позволяет измельчать материалы с малой плотностью с достаточно минимальными энергозатратами.

Обоснованно перспективную конструкцию молотковой дробилки, что позволяет измельчать материалы с малой плотностью с достаточно минимальными энергозатратами.

Ключевые слова: ДРОБИЛКА, МОЛОТОК, РОТОР, РАЗРУШЕНИЕ, ЭНЕРГОЗАТРАТЫ, ПИТАТЕЛИ, ДВИГАТЕЛЬ, ЛОПАСТЬ, БУНКЕР, РЕШЕТА.

ЗМІСТ

	с.
Перелік умовних означень.....	9
Вступ.....	10
1 Огляд та аналіз науково-технічних рішень за темою роботи.....	12
1.1 Загальна інформація.....	12
1.2 Аналіз способів і технічних засобів, що застосовуються для подрібнення.....	13
1.3 Класифікація та огляд конструкцій молоткових дробарок.....	18
1.4 Основні робочі органи молоткових дробарок.....	20
1.5 Живильники дробарок.....	23
1.6 Фактори що впливають на ефективність молоткової дробарки.....	29
1.7 Конструктивні фактори які впливають на подрібнення в молотковій дробарці.....	30
1.8 Динамічні фактори які впливають на роботу молоткової дробарки....	33
1.9 Аналіз теоретичних досліджень процесу дроблення.....	34
1.10 Огляд патентів конструкцій і елементів молоткових дробарок.....	38
1.11 Висновки по розділу.....	47
2 Теоретичні дослідження подрібнення.....	48
2.1 Конструктивно-технологічна схема молоткової дробарки.....	48
2.2 Аналіз нерівномірності подачі матеріалу що подрібнюється.....	51
2.3 Визначення величини подачі матеріалу, що подрібнюється живильним пристроєм.....	54
2.4 Вибору конструкції пристрою живлення і аналіз впливу його параметрів на процес подачі матеріалу.....	57
2.5 Визначення траєкторії руху матеріалу, що подрібнюється, до молотків	65
2.6 Режим роботи живильного пристрою, який забезпечує мінімальні витрати енергії.....	70
2.7 Продуктивність дробарки.....	71
2.8 Розрахунок потужності для подрібнення в молотковій дробарці.....	73
2.9 Висновки по розділу.....	74

3 Огляд та аналіз науково-технічних та експериментальних досліджень за темою роботи.....	76
3.1 Плани до експериментальних досліджень.....	76
3.2 Оцінка точності вимірювань	76
3.3 Лабораторна установка.....	79
3.4 Матеріали і прилади для проведення експериментальних досліджень	83
3.5 Визначення рівномірності і залежності величини подачі матеріалу від частоти обертання валу живильного пристрою.....	83
3.6 Визначення продуктивності молотковій дробарки.....	85
3.7 Визначення окружної швидкості молотків.....	85
3.8 Якісні показники готового продукту та енергоємність процесу подрібнення.....	86
3.9 Методика планування експерименту.....	87
3.10 Вплив частоти обертання пристрою живлення на рівномірність подачі матеріалу до ротору.....	90
3.11 Вплив величини подачі і енергоємності процесу від конструктивних і режимних параметрів пристрою живлення.....	93
3.12 Продуктивність і енергоємність процесу подрібнення від окружної швидкості молотків.....	95
3.13 Дослідження впливу окружної швидкості молотків на модуль помелу готового продукту.....	97
3.14 Вплив величини подачі матеріалу, що подрібнюється, окружної швидкості молотків на продуктивність і енергоємність процесу подрібнення.....	98
3.15 Відповідність результатів теоретичних і експериментальних досліджень.....	101
3.16 Висновки по розділу.....	103
Висновки.....	105
Список використаних джерел.....	106
Додатки.....	112

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

кВт	-	киловат (потужність)
Вт	-	ват (потужність)
г	-	грам (міра ваги)
кг	-	кілограм (міра ваги)
хв	-	хвилина (міра часу)
год.	-	годин (міра часу)
НВ	-	твердості по Брінеллю
кг	-	кілограм (міра ваги)
м/с	-	метрів за секунду (міра швидкості)
хв ⁻¹	-	хвилина в мінус перший (оберти за хвилину)
т	-	тонна (міра ваги)
Фіг.	-	Фігура (скорочення)
Q	-	продуктивність
%	-	відсотки
кг/м ³	-	насипна щільність
мм	-	міліметри (міра довжини)
м ²	-	метр у квадраті (міра площі)
м ³	-	метр у кубі (міра об'єму)
Дж	-	джоуль (міра роботи)
кг/м	-	кілограм на метр (міра розподілу маси по довжині)
°	-	градус (міра кута)
м	-	метр (міра довжини)
кг/год	-	кілограм у годину (міра подачі матеріалу)
кВт*год/кг	-	кіловат у годину на кілограм (міра енергоємності)
Рис.	-	рисунок
Е	-	енергія

ВСТУП

Процеси дроблення і подрібнення широко використовуються в багатьох галузях промисловості. Вони істотно впливають на техніко-економічні показники виробництва і якість готових виробів і сировини. Однак незважаючи на все зростаюче значення цих процесів їх теорія розроблена в недостатній мірі, а численні результати експериментальних досліджень майже не узагальнені і невідомі широкому колу фахівців, зайнятих конструюванням і експлуатацією подрібнюючого обладнання.

Як показує аналіз існуючих конструкцій молоткових дробарок, а також літературний огляд теоретичних досліджень – основні проблеми, якими найчастіше хворіють більшість конструкцій молоткових дробарок є нерівномірність подачі матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів, таких як – молотки, сита, деки. Також існує проблема високої енергоємності процесу подрібнення.

Мета дослідження. Підвищення продуктивності при подрібненні, шляхом вдосконалення процесу подрібнення і обґрунтування параметрів дробарки молоткового типу.

Завдання дослідження.

- а) проведення аналізу подрібнюючих машин і розробка схеми молоткової дробарки;
- б) теоретичне дослідження конструктивних і технологічних параметрів на продуктивність і енергоємність процесу подрібнення;
- в) дослідження впливу конструктивних параметрів на енергетичні показники подрібненого продукту.

Об'єкт дослідження. Дробарка молоткового типу та процес подавання матеріалу в дробарки молоткового типу.

Наукова новизна. Отримано залежності, для визначення впливу конструктивно-режимних і технологічних параметрів роботи молоткової дробарки.

Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему молоткової дробарки, що дозволяє подрібнювати вугілля з мінімальною енергоємністю.

Практична цінність. Значимість роботи полягає в обґрунтуванні аналітичних залежностей, що описують процес подачі та подрібнення вугілля в молотковій дробарці.

Обґрунтовано перспективну конструкцію молоткової дробарки, що дозволяє подрібнювати матеріали з малою щільністю з досить мінімальними енерговитратами.

Роботу виконана відповідно до плану науково-дослідної роботи студентського наукового гуртка «Технологічне обладнання процесів подрібнення і змішування» кафедри «Металургійне обладнання» ІІ ЗНУ.

Апробація: Основні положення магістерської роботи повідомлені, обговорені і схвалені на: а) XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів, м. Запоріжжя - 2019 [49, 50]

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Загальна інформація

Подрібнення найпоширеніша і важлива операція в процесі підготовки матеріалів та сировини. В результаті подрібнення матеріалів утворюється безліч частинок з великою загальною площею поверхні, що сприяє прискоренню технологічних операцій. Виходячи з цього – подрібнення можна характеризувати як процес утворення додаткових поверхонь матеріалу.

Процес подрібнення характеризується великою витратою енергії, причому тільки частина її витрачається безпосередньо на подрібнення, а решта витрачається у вигляді тепла.

Проблемі подрібнення присвячені багато вітчизняних та закордонних досліджень. Єдиної теорії яка описує досить точно процес подрібнення не створено [1, 2].

Основним обладнанням для подрібнення є молоткові дробарки, які знайшли широке застосування завдяки простоті конструкції, надійності в роботі і зручності при експлуатації [3, 4, 5, 6].

Основним недоліком дробарок є непродуктивна витрата енергії і неможливість забезпечити однорідність подрібненого продукту. Навіть при роботі дробарок з контролем подрібнення продукту по крупності завжди є невелика частина продукту з помелом частинок більше того що допускається [7, 8].

Дробаркам промислового типу що випускаються в даний час є притаманні їм недоліки: складність виготовлення; велика кількість дорогих комплектуючих

виробів; неможливість відновлення зношених робочих органів в звичайних умовах [9, 10, 11].

Незважаючи на викладені вище недоліки в даний час найбільш перспективним є подрібнення в молоткових дробарках але створених за новими конструктивно-технологічними схемами (Рисунок 1.1) [11, 12, 13, 14].

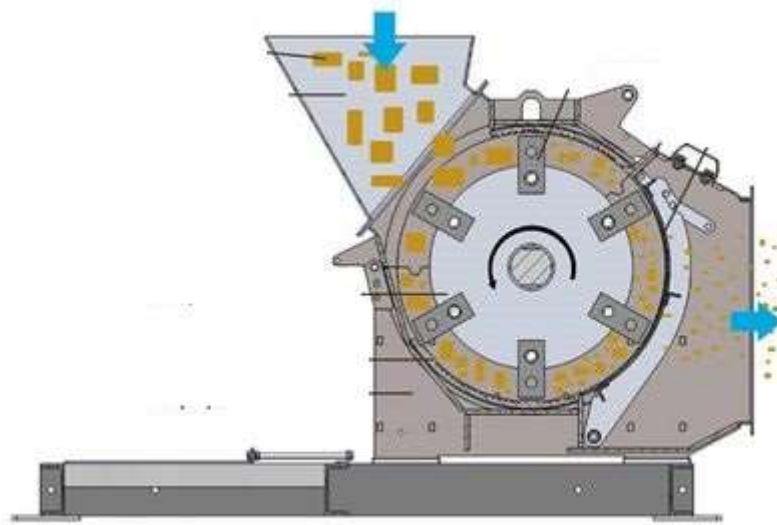


Рисунок 1.1 – Молоткова дробарка

1.2 Аналіз способів і технічних засобів, що застосовуються для подрібнення

Перед застосуванням матеріалу в різних видах виробництва, його необхідно підготувати для найбільш ефективною взаємодії з іншими компонентами. Для його підготовки широке поширення на підприємствах отримав спосіб подрібнення матеріалу механічним впливом з боку робочих органів.

Під подрібненням розуміється постійне зменшення початкових розмірів частинок шляхом фізичного впливу на них зовнішніх сил, що перевершують за величиною сили молекулярного зчеплення цих частинок.

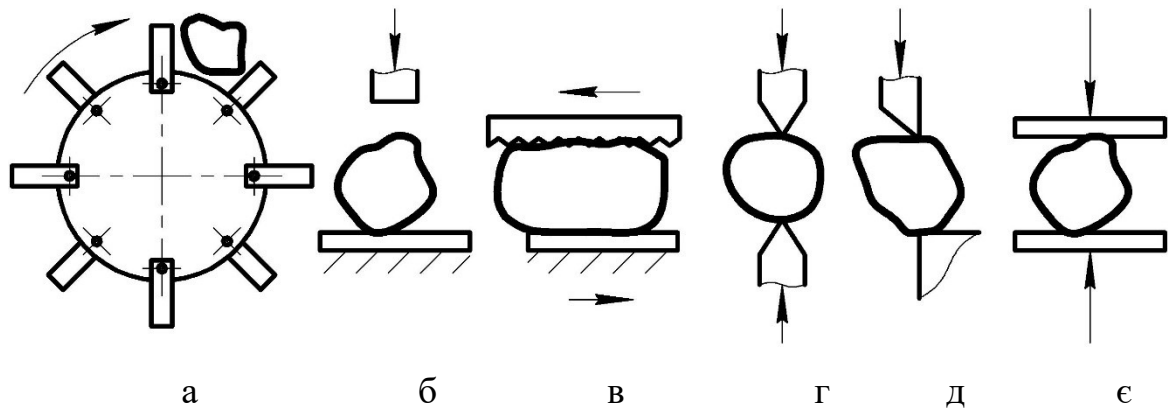
Залежно від виду деформації, спричиненої в частці, що подрібнюється матеріалу і способу впливу на неї робочими органами подрібнюючих машин відомі такі основні способи подрібнення матеріалів: ударом, стиранням, сколюванням, різанням і давленням (Рисунок 1.2).

Спосіб подрібнення вибирається, керуючись в основному фізико-механічних властивостями матеріалу.

Найбільшого поширення серед способів процесу подрібнення отримав удар. Розрізняють подрібнення за допомогою вільного (Рисунок 1.2 а) і тугих (Рисунок 1.2 б) ударів. Під час вільного удару подрібнення частинки матеріалу відбувається в результаті зіткнення її з робочими органами молотковій дробарки або іншими тілами в польоті. Ефективність даного процесу подрібнення визначається швидкістю зіткнення частинок матеріалу незалежно від того, рухається, що руйнується, тіло або робочий орган дробарки. При обмеженому ударі частка матеріалу руйнується, потрапляючи між двома робочими органами дробарки. Ефективність даного процесу подрібнення залежить від кінетичної енергії вдаряє тіла.

При стиранні (Рисунок 1.2 в) матеріал руйнується під дією сил стиснення і тангенціальних сил, в результаті чого виходить порошкоподібний продукт. При стиранні збільшується енергоємність процесу і знос робочих органів дробарки. В результаті чого продукти зносу робочих органів дробарки можуть потрапляти в подрібнюють масу, що не бажано з точки зору ведення процесу [15].

При сколюванні (Рисунок 1.2 г) матеріал руйнується на частини в місцях найбільших концентрацій напруг, що викликаються клиноподібним напруженням, що розколює органом дробарки. Частинки більш однорідні за розмірами і формі. Цей спосіб дозволяє регулювати розміри одержуваних часток.



а – вільним ударом; б – обмеженим ударом; в – стиранням; г – сколюванням;
 д – різанням; є – тисненням

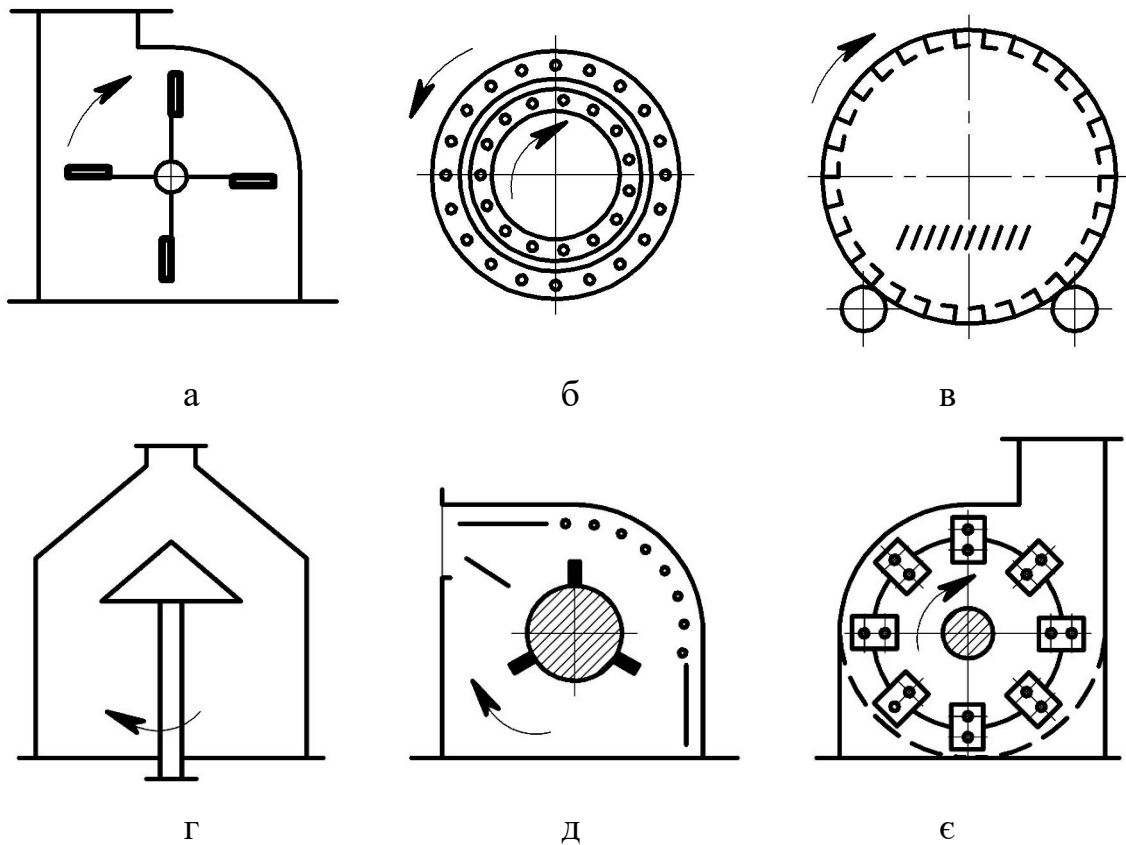
Рисунок 1.2 – Способи подрібнення матеріалів

При різанні (Рисунок 1.2 д) матеріал руйнується на заздалегідь задані по розміром і формою частини. Процес повністю керований.

Руйнування матеріалу при стисненні (Рисунок 1.2 є) відбувається, коли внутрішня напруга в ньому перевищують межу міцності при стисненні.

На підставі описаних способів подрібнення матеріалів, можна класифікувати подрібнюючі машини, а також зробити висновок про застосування найбільш ефективною машини, що дозволяє подрібнювати матеріали до необхідного гранулометричного складу. Клушанцев Б.В. і Косарєв А.І. [3] для процесу подрібнення на підприємствах застосовували різні подрібнюючі машини, що розрізняються по конструкції і типу робочих органів (Рисунок 1.3):

- а) хрестові;
- б) штифтові;
- в) барабанні;
- г) тарілчасті;
- д) роторні та молоткові.



а – хрестові; б – штифтові; в – барабанні; г – тарілчасті; д – роторні;
 е – молоткові

Рисунок 1.3 – Схеми подрібнюючих машин

Хрестові дробарки (Рисунок 1.3 а) в своїй конструкції мають била, жорстко закріплені на роторі, окружна швидкість бив може досягати до 100 м/с. Дані дробарки знайшли широке застосування для подрібнення м'яких матеріалів [16, 17, 15].

У штифтових дробарках (Рисунок 1.3 б) одним з основних робочих органів є два циліндра, де утворення яких представляють штифти, жорстко закріплені в підставі. Процес подрібнення в даних дробарок відбувається за рахунок обертання двох циліндрів зі штифтами, що обертаються назустріч один одному. Швидкість руху штифтів може досягати до 150 м/с і вище [15]. Готовий продукт при подрібненні штифтовими дробарками має крупність до 5 мм. Дані дробарки

знайшли широке застосування для подрібнення матеріалів зниженої міцності [16, 17, 15].

Барабанні дробарки (Рисунок 1.3 в) включають в себе пустотілий барабан, який має торцеві кришки з порожніми цапфами, встановленими в підшипниках. Дробильна камера заповнена мелючими тілами на 25 - 40% і подрібнюючим матеріалом. У дробильній камері за допомогою відцентрової сили інерції подрібнюючий матеріал переміщається до стінок барабана дробарки, де стикається в зоні з дроблячими тілами. Дані дробарки знайшли своє застосування в основному для подрібнення маломіцних продуктів та мають великі габаритні розміри [3, 18, 15].

У тарілчастих дробарках (Рисунок 1.3 г), подрібнення здійснюється за рахунок удару маси матеріалу, розганяється за допомогою обертання диска (тарілки). Дані дробарки найбільш застосовні при подрібненні таких матеріалів, як глина, вапняк і ін. [20, 3, 15]. З досліджень Єлісеєва В.А. тарілчасті дробарки мало застосовні в через їх недостатню ефективність процесу подрібнення [19].

В роторній дробарці (Рисунок 1.3 д) руйнування відбувається за допомогою ударної дії бил по матеріалу, а також зіткнень частинок подрібнюваної маси між собою. Для найбільш ефективного руйнування матеріалу що подрібнюється, окружна швидкість ротора може досягати до 80 м/с та ці дробарки в основному застосовують при виробництві будівельних матеріалів та металургії [15].

У молоткових дробарках (Рисунок 1.3 є) процес подрібнення відбувається за рахунок впливу на подрібнення матеріалу шарнірно-підвішеними на роторі молотками. Молоткові дробарки відрізняються досить високим ступенем подрібнення [15]. Перевагами молоткових дробарок є:

- а) швидкий вихід подрібненого матеріалу з дробильної камери;
- б) можливість регулювати ступінь подрібнення;
- в) легка заміна зношуються робочих органів;
- г) механізована завантаження матеріалу, що подрібнюється.

Крім представлених видів подрібнюючих машин в промисловості також використовуються жорнові млини і вальцьові верстати.

Жорнові млини, в основному працюють за принципом стирання. Робочими органами жорнових млинів є два плоских диска (жорна), які виготовлені з матеріалів гірських порід або сталевих матеріалів. Робоча поверхню жорен є борозенки, що відходять від центру диска до його периферії. Дана конструкція жорно сприяють якнайшвидшому виходу готового продукту, а також через борозенки здійснюється охолодження робочих поверхонь жорен. Також борозенки беруть участь частково в подрібненні матеріалу шляхом його сколювання об їхні гострі кромки. При подрібненні на жорнових млинах знижується продуктивність і досить висока енергоємність процесу подрібнення.

Вальцьовими верстатами називається група подрібнюючих машин, в яких стикаються один з одним рухомі та нерухомі поверхні робочих органів, утворюючи жорсткий контакт через подрібнюється матеріал. Вальцьові верстати мало застосовні для подрібнення вологих матеріалів, так як вони тільки здавлюють її, а не подрібнюють.

Проведений аналіз представлених подрібнюючих машин показує, що молоткові дробарки найбільш повно відповідають вимогам, що пред'являються для подрібнення. Однак слід зазначити, що сам процес подрібнення молотковими дробарками до теперішнього мало вивчений, тому постає питання про вдосконалення, як самого процесу подрібнення, так і конструктивно-режимних, а також технологічних параметрів дробарки.

1.3 Класифікація та огляд конструкцій молоткових дробарок

Класифікація молоткових дробарок представлена на рисунку (Рисунок 1.4) [20, 18].

За організації робочого процесу, що протікає в робочій камері, молоткові дробарки розрізняють відкритого і закритого типів. У дробарках відкритого типу подрібнений матеріал видаляється з дробильної камери, які не проходячи повний цикл при своєму переміщенні. Одним з основних фактором процесу подрібнення в таких дробарках є вільний удар. У дробарках закритого типу решето і деки охоплюють всю поверхню дробильної камери і матеріал, що надходить в неї, здійснює круговий рух, при цьому розташовуючись у вигляді пухкого повітряно-продуктового шару. В даних дробарках матеріал подрібнюється за рахунок ударної дії, а також і стирання [20, 21, 22].

Великого поширення набули дробарки закритого типу, які поділяють на спеціалізовані та універсальні. У спеціалізованих молоткових дробарок до основним робочим органам відноситься ротор з шарнірно закрпленими молотками, а також решета. В універсальних дробарках, крім молотків на роторі

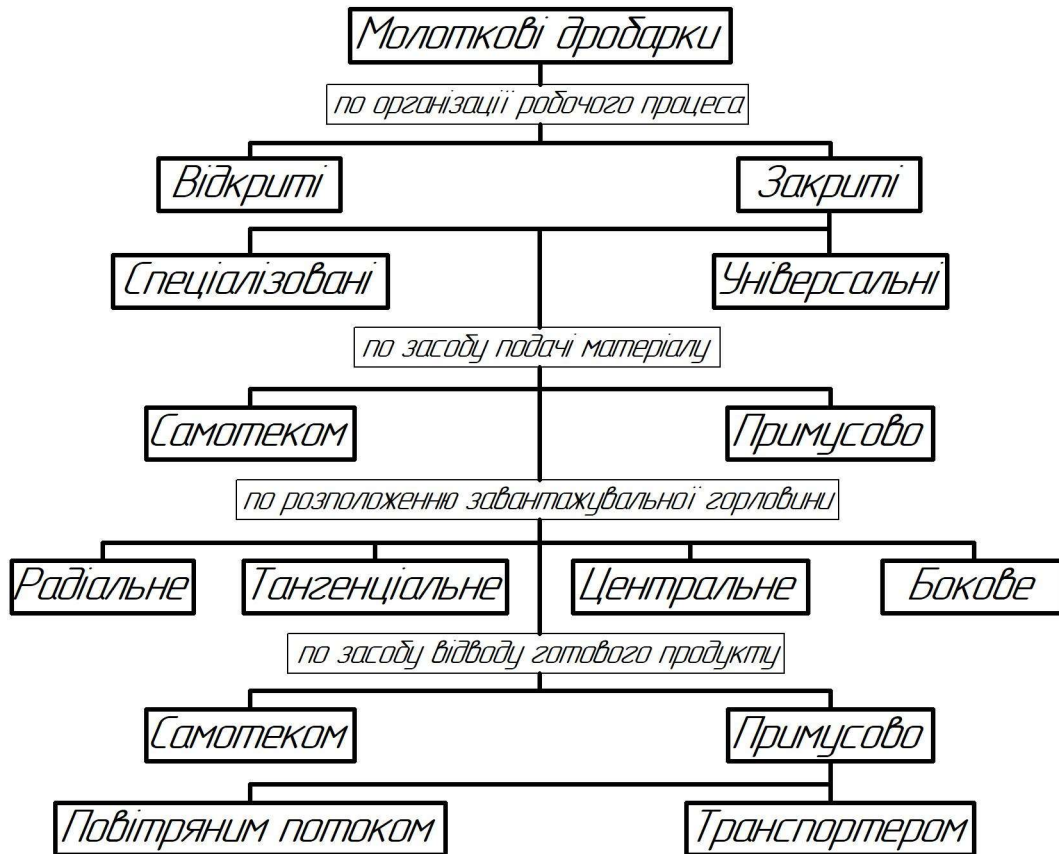


Рисунок 1.4 – Класифікація роботи молоткових дробарок

також можливо бути встановлені криволінійної або прямолінійною форм ножі, або встановлений окремо ріжучий барабан.

За способом подачі матеріалу, що подрібнюється в дробильну камеру слід розрізняти дробарки з примусовою подачею і самопливом. Деякі дробарки, для подачі погано сипучих матеріалів забезпечені живлючими пристроями.

1.4 Основні робочі органи молоткових дробарок

До елементів що змінюють якісний стан вихідного матеріалу, відносяться наступні робочі органи дробарок: молотки, деки і решета.

Основним ударним елементом в молоткових дробарках є молоток. Для подрібнення застосовуються молотки різних конструкцій. Найбільшого поширення отримали пластинчасті молотки (Рисунок 1.5), які можна розділити на прямокутні (Рисунок 1.5 а, б), зі східчастими кінцями (Рисунок 1.5 в, г, д) і складові фігурні (Рисунок 1.5 є). При наявності одного отвору для пальців молотки після зносу переднього робочого кута можуть бути повернені і вдруге використані, а молотки з двома отворами можуть бути використані до чотирьох разів. Наявність ступенів на кінцях збільшує ефективність процесу подрібнення плівчастих і волокнистих матеріалів. Складові фігурні молотки, в основному знайшли своє застосування при подрібненні крупношматкових матеріалів.

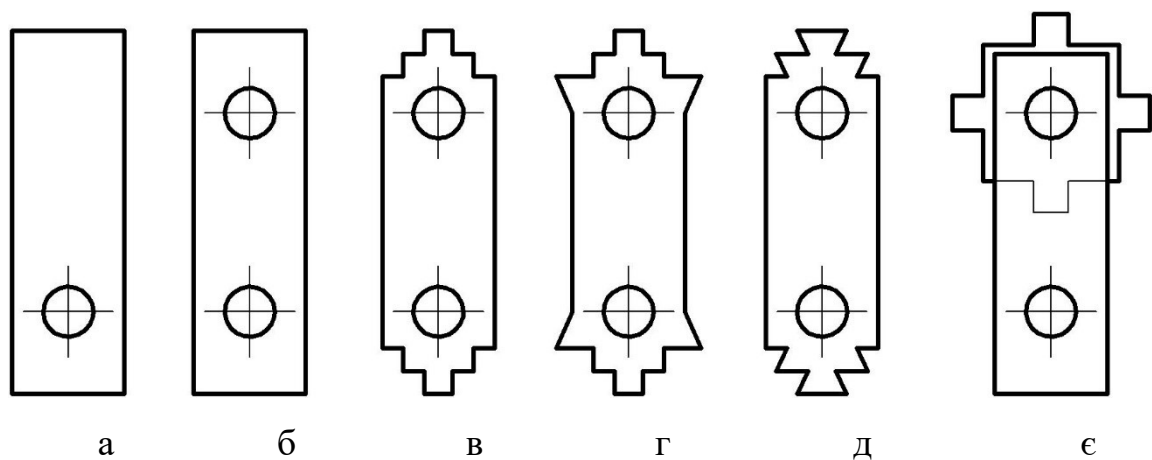
За товщиною молотки можна розділити на тонкі, нормальні і товсті:

- а) тонкі молотки 2 - 3 мм використовують при подрібненні сипких матеріалів;
- б) середні молотки 6 - 8 мм – для подрібнення м'яких матеріалів;
- в) товсті молотки 8 - 12 мм застосовуються при подрібненні крупношматкових матеріалів.

Молотки виготовляють з вуглецевої або марганцевистої сталі з термічною обробкою робочих кінців до твердості по Брінеллю 390 - 475 НВ.

Залежно від виду термічної обробки, а також виготовляється матеріалу термін служби молотків становить від 72 до 280 годин.

Броньові плити та деки, встановлюються у верхній частині корпусу і разом з решетом є нерухомими частинами дробарки, від яких відбувається рикошет частинок матеріалу, що подрібнюється, при відкиданні після ударів молотків. Деки бувають з рифленою робочою поверхнею або гранчастими, укладеними поверх суцільній стінки корпусу дробарки.

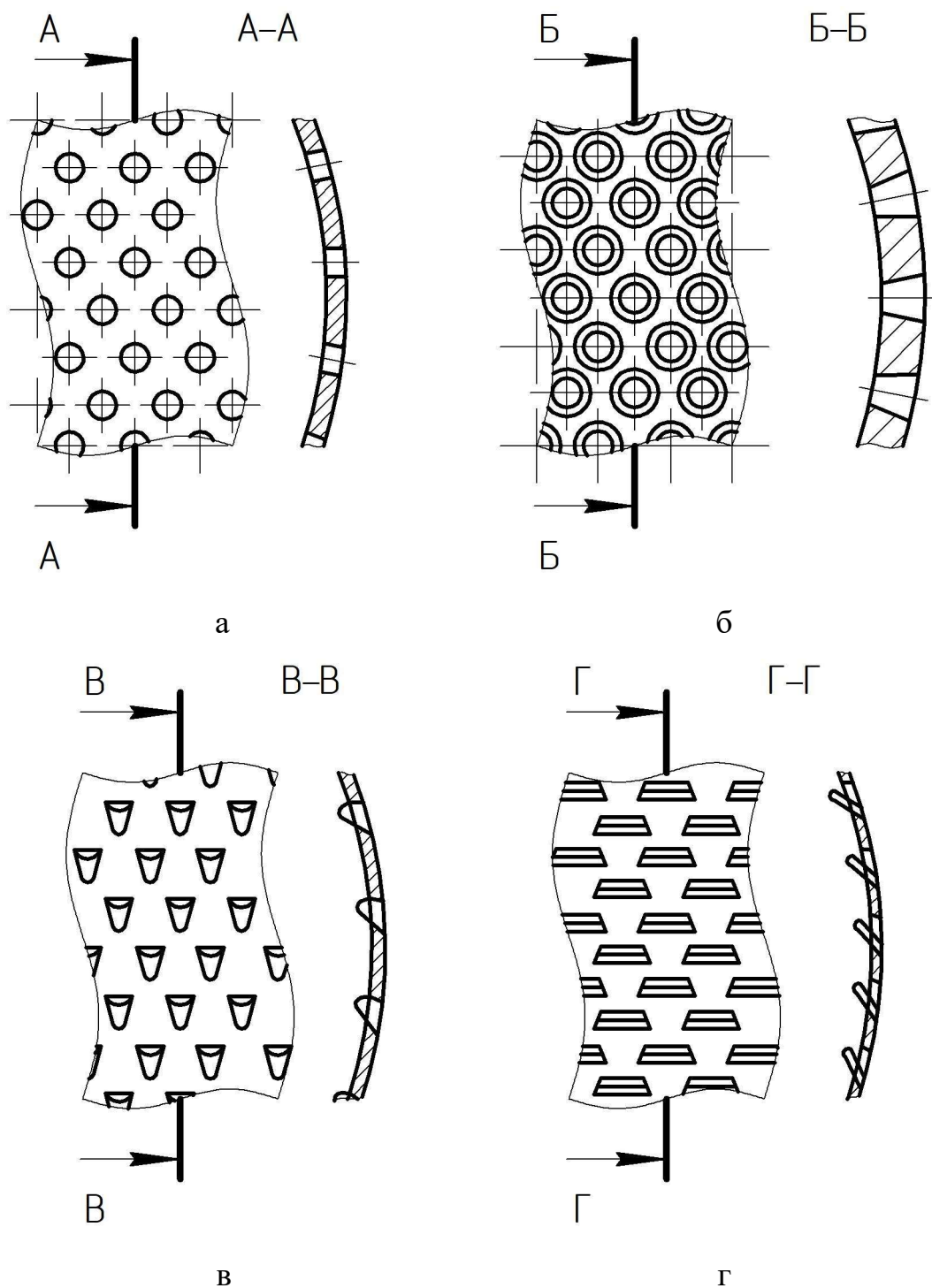


а, б – прямокутні; в, г, д – зі східчастими кінцями; е – складові фігурні

Рисунок 1.5 – Форми молотків

Решета (Рисунок 1.6) служать для виведення подрібненого продукту з робочої зони дробарки, а також для посилення ефекту подрібнення. Решета виготовляють з листової сталі і по конструкції вони бувають гладкі (Рисунок 1.6 а, б) і лускаті (Рисунок 1.6 в, г). Для зменшення опору руху матеріалу, що подрібнюється продукту отвори в решетах роблять конічної форми. Лускаті решета з отворами полувальної або прямокутної форми мають гостро шорстку поверхню, значно підвищує ефект подрібнення і пропускну здатність в порівняно з гладкими решетами.

Зазвичай до дробарці додається кілька змінних решіт з різною величиною отворів. Зміною решіт можна досягти необхідного ступеня подрібнення.



а, б – гладкі; в, г – лускаті

Рисунок 1.6 – Решета молоткових дробарок

Найбільший інтерес серед робочих органів дробарки представляють молотки, що відрізняються за формою робочої поверхні. Недоліком

представлених конструкцій молотків, є низька ефективність взаємодії робочою поверхнею молотка з подрібнюваною масою.

Молотки, закріплені на ротор дробарки захоплюють подрібнюючу масу і наносять ударну дію, захоплюючи його в обертальний рух, утворюючи при цьому повітряно-продуктовий шар, що рухається щодо обертання ротора. Підлягаючі подрібнення частки групуються повітряно-продуктовому шарі так, що великі частки розташовані ближче до робочої поверхні решета, перегороджуючи шлях видалення з дробильної камери часткам, які знаходяться під ними. При цьому розташуванні частинкам матеріалу, що подрібнюється, великим часткам досить важко потрапити під удари молотків, а дрібні частинки в результаті частого ударного впливу молотків занадто подрібнюється, що веде до збільшення енергоємності процесу подрібнення, а також зниження продуктивності.

Під час робочого процесу молотки відхиляються від радіального положення, в результаті чого сила удару буде слабкіша, а частка матеріалу, що подрібнюється матеріалу буде прагнути до ковзання уздовж межі молотка, внаслідок чого також відбувається зниження ефективності подрібнення.

З метою визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів молотків із ступінчастою робочою поверхнею для найбільш ефективного подрібнення необхідно провести їх подальші дослідження.

1.5 Живильники дробарок

Важливим конструктивним елементом в молоткових дробарках є завантажувальний бункер, який служить в якості проміжної ємності, що забезпечує стабільність процесу витікання матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів дробарки.

Питанням витікання сипучих матеріалів з бункерів займалися багато дослідників, такі як: Алфьоров К.В., Зенков Р.Л. і багато інших [23, 24, 25, 26, 27].

Відомо, що подавання матеріалів з завантажувального бункера буває нормальне, суцільне і гідравлічне. При нормальному подаванні частки знаходяться лише в зоні стовпа матеріалу, розташованого над вивантажним отвором бункера (Рисунок 1.7 а). Вільна поверхня матеріалу, що подрібнюється переміщується в центральну зону. Матеріал, розташований біля стін бункера, утворює так звані «мертві» зони. У цих зонах частки матеріалу нерухомі до тих пір, поки воронка, що утворилася на поверхні матеріалу, що подрібнюється, не досягне нижньої частини завантажувального бункера.

При суцільному подаванні всі частинки матеріалу, що подрібнюється, в завантажувальному бункері знаходяться одночасно в русі (Рисунок 1.7 б) [23, 26, 27]. Вільна поверхня матеріалу, що подрібнюється, не має чітко вираженої воронки, всі крапки цієї поверхні опускаються одночасно. При суцільній формі подавання в завантажувальному бункері відсутні «мертві» зони що дозволяє вирівнювати нерівномірний потік матеріалу, що подрібнюється.

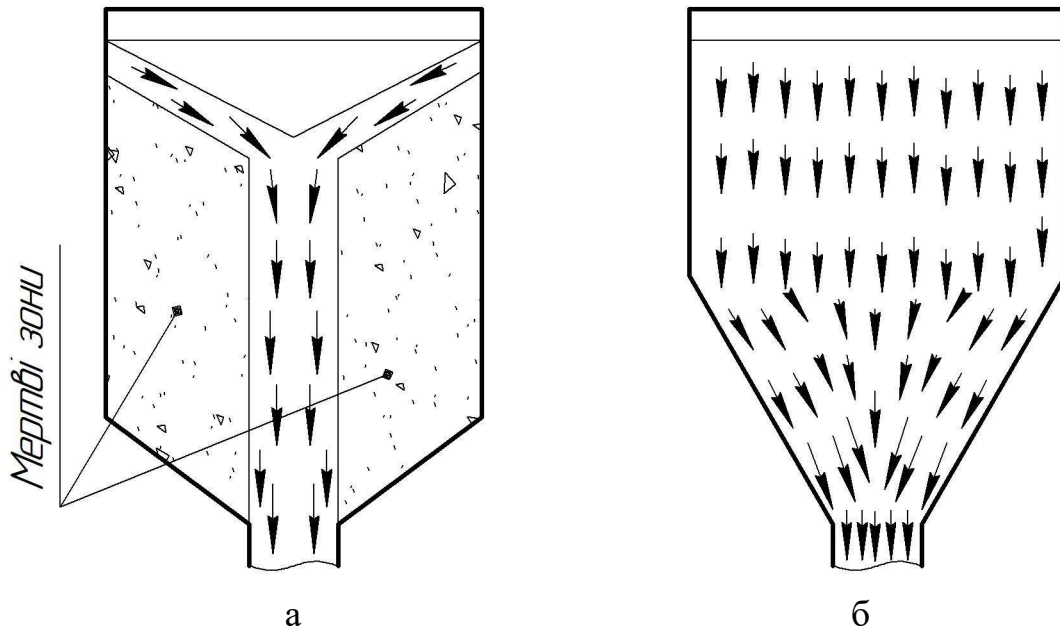
Гідравлічне витікання відбувається при випуску з бункера сильно аерованого матеріалу, що подрібнюється, а також при інтенсивних його вібраціях.

Досвід застосування різних конструкцій завантажувальних бункерів виявив ряд проблем закінчення сипучих матеріалів, що знижують ефективність процесу подачі подрібнюють матеріалів до робочих органів молоткової дробарки.

Основними з них є: нерівномірне витікання, сводообразування, наявність «мертвих» зон в порожнині завантажувального бункера і коливання продуктивності.

У зв'язку з цим доцільно всі матеріали розділити на дві групи:

- а) легкосипких;



а – нормальне; б – суцільне

Рисунок 1.7 – Схеми сипання сипучих матеріалів з бункерів

б) важкосипучих:

1) важкосипучі матеріали в основному складаються з частинок неправильної форми, мають великий коефіцієнт внутрішнього і зовнішнього тертя, що сприяє механічній зчіплюємості між ними і перешкоджає процесу витікання.

Насипна щільність деяких матеріалів становить $85 - 270 \text{ кг/м}^3$, що також призводить до їх поганої сипучості.

На підставі огляду наукових і патентних літературних джерел був проведений аналіз основних типів живильних пристроїв, що відповідають технологічним вимогам – безперервності робочого процесу, надійності роботи і мінімальних витрат енергії.

Класифікація живильників представлена на (Рисунок 1.8).

При виборі і розробці пристрою живлення повинні враховуватися наступні вимоги:

а) здійснювати безперервну і рівномірну подачу матеріалу;

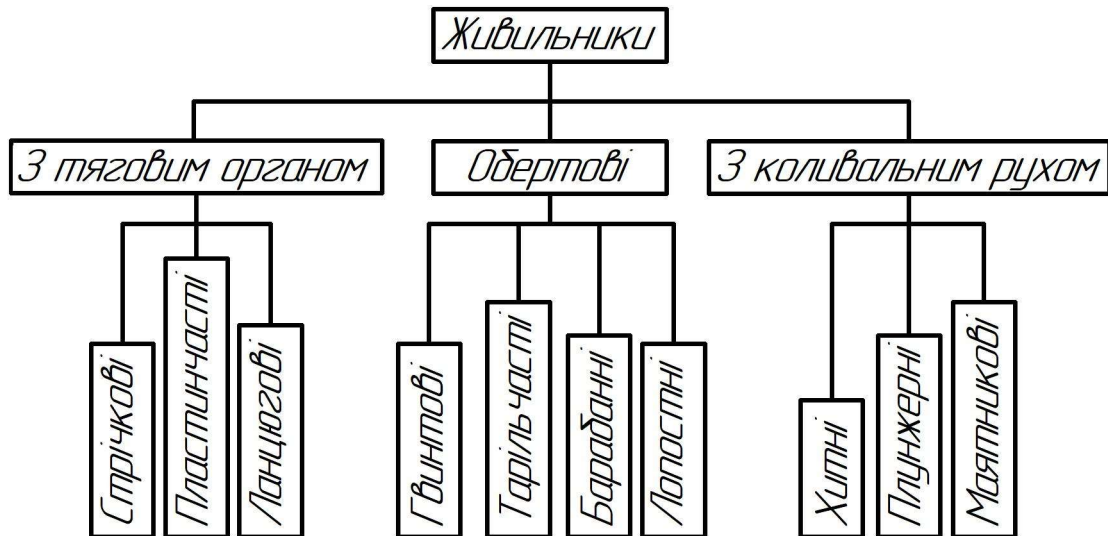


Рисунок 1.8 – Класифікація живильників

- б) забезпечувати необхідну пропускну здатність матеріалу до робочих органів молоткової дробарки;
- в) здійснювати подачу матеріалу до робочих органів молоткової дробарки з певною швидкістю.

Стрічкові, пластинчасті і ланцюгові живильники набули широкого поширення в сільському господарстві для транспортування вологих і злежалих, а також крупнокускових матеріалів. Такого типу живильники не можуть бути використані в молоткових дробарках, так як є неефективними через їх нерівномірності подачі матеріалу.

Хитні, плунжерні і митників живильники також малозастосовні для рівномірної подачі матеріалу [21].

Найбільше застосування в конструкції молоткових дробарок знайшли живильники з обертотим робочим органом [21].

Гвинтові живильники (Рисунок 1.9) застосовуються для подачі добресипучих матеріалів від дрібнокускових до порошкоподібних. Недоліком гвинтових живильників є їх висока енергоємність процесу, порівняно висока нерівномірність подачі матеріалу [23, 27].

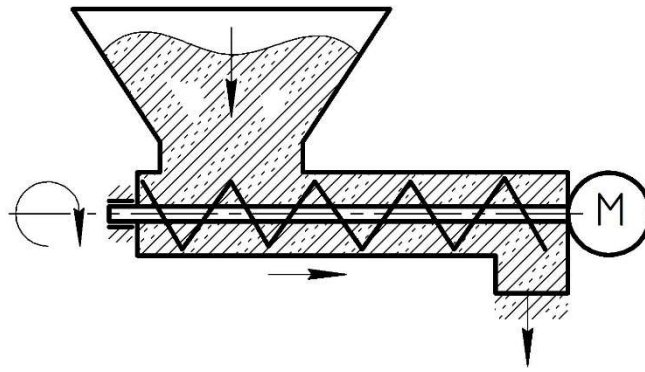


Рисунок 1.9 – Схема гвинтового живильника

Тарілчасті живильники призначені для добресипучих матеріалів. Недоліком таких живильників є те, що вони не можуть застосовуватися для подачі матеріалів з низькою насипною щільністю.

Барабанні живильники різних типів різноманітні за конструкцією і принципом дії. Докладний аналіз і класифікація барабанних дозаторів наведені в роботі [27].

За конструктивними ознаками барабанні живильники розрізняються на:

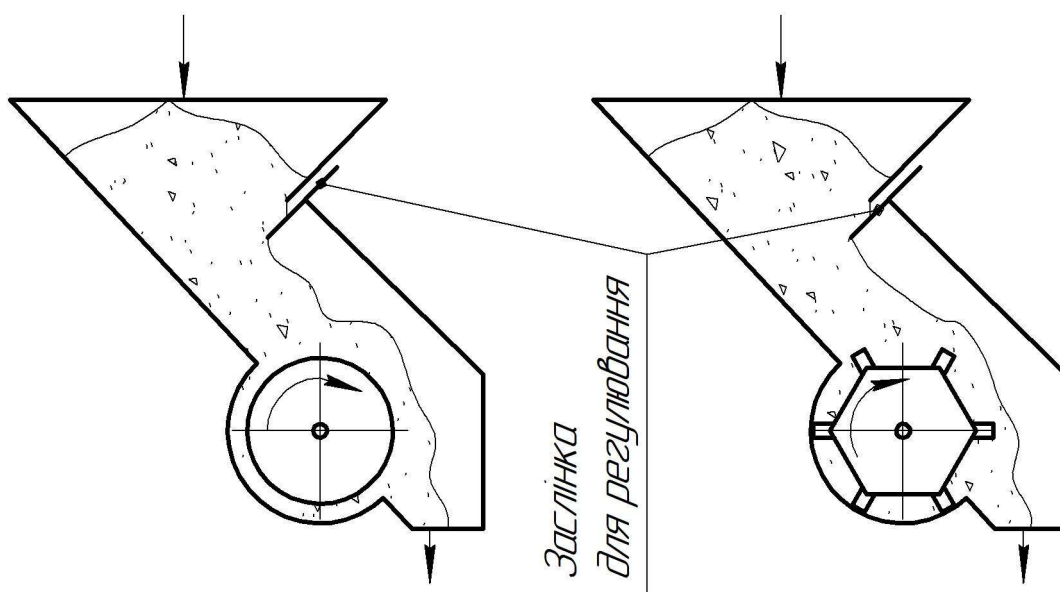
- а) циліндричні з гладкою поверхнею (Рисунок 1.10 а);
- б) циліндричні з рифленою поверхнею (Рисунок 1.10 б).

Живильники з циліндричної гладкою поверхнею вдають із себе корпус з приймальним бункером, всередині якого знаходиться гладкий циліндричний барабан. Такі живильники не можуть працювати з важкосипучими матеріалами через прилипання їх до барабана і забивання його.

Живильники з рифленим барабаном застосовується для порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів. Але такі живильники як правило малопродуктивні.

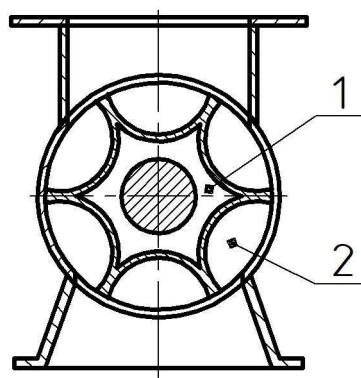
Живильники з пористих барабаном (Рисунок 1.11) призначені для подачі важкосипучих матеріалів.

Живильники з лопатевим барабаном призначені для добре сипучих матеріалів, що так само, як і живильники з циліндричної гладкою поверхнею малоефективні.



а – циліндричні з гладкою поверхнею; б – циліндричні з рифленою поверхнею

Рисунок 1.10 – Схеми барабаних живильників



1 – ротор; 2 – осередок барабана

Рисунок 1.11 – Схема живильника з осередковим барабаном

Таким чином, пропонованим вимогам задовольняють живильники з пористим барабаном спільно з гвинтовими, осередки (жолоби) яких виконані по гвинтовій лінії.

1.6 Фактори що впливають на ефективність молоткової дробарки

Основними показниками, що характеризують процес подрібнення і роботу молоткових дробарок, є продуктивність, енергоємність процесу подрібнення і ступінь подрібнення, ефективність процесу подрібнення, що протікає в молоткових дробарках й багато в чому залежить від факторів.

Так само значний вплив на ефективність робочого процесу надають фізико-механічні властивості матеріалу що подрібнюється (насіпна щільність, вологість, гранулометричний склад, і ін.) [21, 15].

Велика кількість дробарок, що розрізняються за типами, конструкції робочих органів і допоміжних пристроїв, а також вплив на ефективність робочого процесу різних чинників призвело до появи великої кількості досліджень в цій області.

Фактори що впливають на подрібнення можна розділити на наступні групи [20, 21, 28, 29]:

а) конструктивні;

- 1) спосіб подачі подрібнюваної маси;
- 2) розміри дробильної камери і ротора;
- 3) форма і розміри молотків;
- 4) кількість пакетів молотків і молотків в пакеті;
- 5) порядок розстановки молотків;
- 6) зазор між кінцями молотків і поверхнею решета;
- 7) тип решета, його товщина, розмір і форма отворів;
- 8) конструкція і розмір деки.

б) Динамічні чинники:

- 1) швидкість надходження матеріалу в дробильну камеру;
- 2) окружна швидкість обертання молотків;
- 3) повітряний режим дробарки;

- 4) відхилення молотків від радіального положення;
 - 5) момент інерції ротора.
- в) Технологічні фактори:
- 1) попереднє підпресування подрібнюваної маси;
 - 2) величина подачі матеріалу, що подрібнюється;
 - 3) модуль помелу і ступінь подрібнення готового продукту.

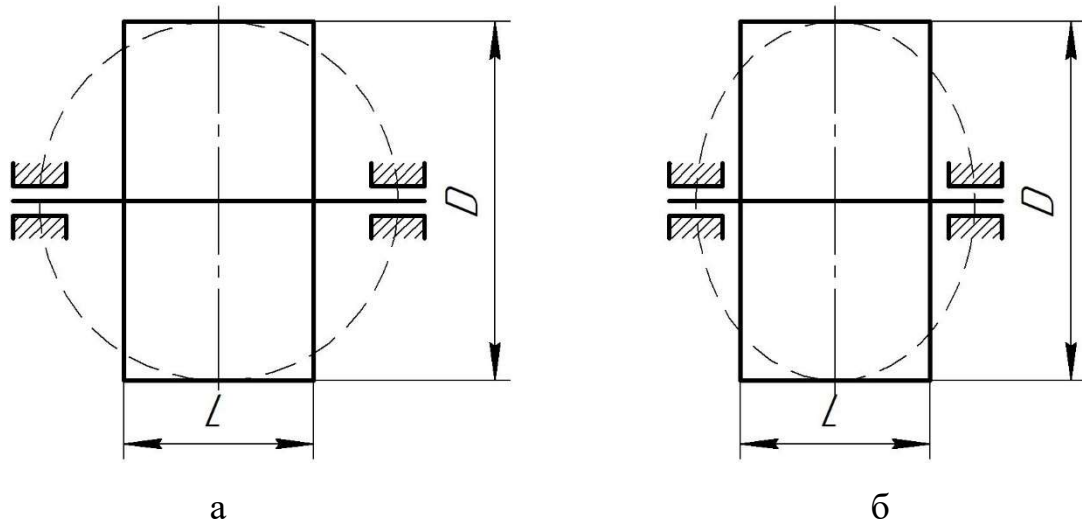
1.7 Конструктивні фактори які впливають на подрібнення в молотковій дробарці

Одними з основних конструктивних особливостей, що впливають на ефективність процесу подрібнення в молоткових дробарках є діаметр і довжина ротора [21].

При проектуванні і розрахунку роторів молоткових дробарок необхідно враховувати наявність двох типів роторів, які відрізняються співвідношенням розмірів діаметра D і довжини L (Рисунок 1.12) ці співвідношення знаходяться в межах

$$\left. \begin{aligned} K_1 &= \frac{D}{L} = 1 - 2, \\ K_2 &= \frac{D}{L} = 4 - 7. \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

У роторів першого типу (Рисунок 1.12 а) до 50 % їх маси в основному зосереджено в пакетах молотків поблизу від осі обертання молоткового ротора, внаслідок чого осьовий момент інерції відносно невеликий. Перевагою даного



а – першого типу; б – другого типу

Рисунок 1.12 – Типи роторів молоткових дробарок

типу роторів є те, що вони легше піддаються динамічного балансування, оскільки мають майже рівноосний еліпсоїд інерції, за формою близький до кулі.

Маса молотків у роторів другого типу (Рисунок 1.12 б) становить всього лише 15 - 20 % від загальної маси барабана. Пакети молотків видалені на значну відстань від осі обертання, в результаті даний тип роторів відрізняється найбільшими значеннями осьових моментів інерції і маховим моментом [20, 15]. Чим менше даний діаметр, тим менше енергоємним є процес на переміщення матеріалу. Доцільно вибирати діаметр ротора в межах 0,2 - 0,5 м.

Автори [20, 21] у свої роботах стверджують, що для молоткових дробарок з діаметром ротора рівним 0,5 м оптимальним число пакетів молотків є 9-10. Подальше збільшення числа пакетів, викликає збільшення енергоємності процесу подрібнення.

Основними робочими органами дробарки є молотки. Вплив конструктивних параметрів молотків на робочий процес дробарки вивчали багато вчених, які виявили, що процес подрібнення найефективніше проводити молотками товщиною 1,5 - 2,5 мм. Зниження енергоємності процесу подрібнення становить 5 - 7 %. Однак [21] стверджується, що зменшення товщини молотка з

3 до 2мм призводить до зниження продуктивності на 3 – 4 %, також зменшується і якість готового продукту.

Ряд вчених, вказують на збільшення числа молотків на роторі, однак вважають, що збільшення числа молотків призводить лише до збільшення потужності на привід ротора без зростання продуктивності.

Розстановку молотків на роторі проводять з таким розрахунком, щоб подрібнюють маса максимально розподілялася по довжині ротора якомога рівномірне. Це можна забезпечити при розміщенні молотків на роторі по сходимося гвинтовим лініях. Таке розміщення молотків дозволяє збільшити термін служби молотків без їх перестановки приблизно на 20 %, а також збільшити продуктивність дробарки на 10 % в порівнянні іншими схемами розташування [21].

В роботі деяких пропонується застосування молотків з гострими гранями, в результаті чого можливе підвищення ефективності процесу подрібнення.

Дека на думку авторів [20, 21] сприяє гальмуванню і більш інтенсивному подрібненню, що веде до збільшення продуктивності та зниження енергоємності процесу.

Гудков А.Н. на підставі аналізу робіт різних дослідників робить висновок про вплив деки на процес подрібнення, але також одночасно з цим вважає за можливе замінити деку на решето.

Решето, поряд з молотками і декою, також є одним з важливих робочих органів молоткових дробарок і визначає не тільки гранулометричний склад готового продукту, але і продуктивність, а також енергоємність процесу подрібнення.

Вплив решета на показники робочого процесу молоткових дробарок присвячено безліч досліджень [21, 22, 30].

Згідно з дослідженнями основне руйнування матеріалу відбувається в зоні решета з отворами круглої форми, тому кут обхвату решетом може становити 120 - 360°.

Одним з важливих факторів, що впливають на робочий процес дробарки, є зазор між кінцями молотків і поверхнею решета. Від його збільшення залежить ефективність робочого процесу дробарки, а також якість готового продукту. Деякі дослідники [21, 24] для підвищення продуктивності рекомендують збільшити зазор до 15 - 25 мм, з одночасним збільшення окружної швидкості молотків. При виконанні даних умов продуктивність підвищується на 15 %, а витрата енергії знижується на 17 - 20 %.

Інші [15], виходячи з результатів своїх досліджень, показують, що при зменшенні зазору в межах 1,5 - 2,0 мм відбувається підвищення ефективності процесу подрібнення, при цьому готовий продукт має вирівняний гранулометричний склад [21].

Таким чином, узагальнивши численні дослідження щодо впливу конструктивних параметрів на робочий процес молоткової дробарки, можна укласти:

- а) необхідно збільшити площу охоплення дробильної камери решетом, так як це дозволить більш ефективно проводити процес видалення подрібнених частинок з дробильної камери;
- б) необхідно прагнути до зменшення зазору між кінцями молотків і поверхнею решета, так як це призводить до збільшення продуктивності дробарки;
- в) необхідно зменшувати товщину молотків, так як це призводить до підвищення ефективності дробарки на 5 - 7 %.

1.8 Динамічні фактори які впливають на роботу молоткової дробарки

Вплив динамічних факторів на ефективність роботи молоткових дробарок досліджувалося багатьма вченими.

Гернет М.М. встановив, що молотки при роботі дробарки схильні коливань і запропонував використовувати молотки, врівноважені на удар [21, 15].

У зоні завантаження робочої камери молоткової дробарки є повітряний потік, спрямований протилежно надходить масі матеріалу. Тому пропонують вводити подрібнюємих матеріал в робочу камеру з деякою початковою швидкістю.

Основним найбільш важливим чинників, що впливають на ефективність процесу подрібнення, є окружна швидкість обертання молотків. При виборі окружної швидкості молотків повинна враховуватися як технічна складова, так і економічна, так як зі збільшенням частоти обертання ротора з молотками, енергоємність на холостому ході зростає.

Так, наприклад, W.S. Kruger, виходячи з результатів своїх досліджень зробив висновки, що при збільшенні окружної швидкості молотків падає продуктивність дробарки, а також збільшується ступінь подрібнення готового продукту.

Питання, пов'язані з подачею матеріалу, що подрібнюється до робочих органів дробарки, розглядали в роботах багатьох вчених. Це можна пояснити тим, що величина подачі подрібнюваної маси в дробильну камеру є одним з основних факторів, який визначає ефективність робочого процесу дробарки.

Згідно з дослідженнями деякими – примусова подача матеріалу забезпечує більш рівномірне його надходження до робочих органів дробарки, внаслідок чого енергоємність процесу подрібнення знижується в 1,5 - 2 рази.

1.9 Аналіз теоретичних досліджень процесу дроблення

Процес подрібнення будь-якого продукту полягає в руйнуванні вихідного матеріалу послідовними механічними діями, а основним результатом подрібнення є багаторазове збільшення поверхні матеріалу, що подрібнюється.

Основне питання теорії подрібнення полягає у встановленні зв'язку між енерговитратами і розмірами кінцевих і початкових частинок матеріалів, а також їх формою, взаємним розташуванням, фізико-механічними властивостями і т.п. В зв'язку з впливом численних факторів на процес подрібнення, існуючі теорії характеризують витрати енергії в загальному вигляді з урахуванням найбільш важливих параметрів процесу.

Відповідно до поверхневої теорії руйнування П. Реттінгера, робота процесу подрібнення матеріалу, прямо пропорційна площі новоствореної поверхні

$$A_F = K_1 \cdot \Delta F, \quad (1.2)$$

де K_1 - коефіцієнт пропорційності;

ΔF - площа поверхні що знову утворилася, м².

Теорія П. Реттінгера в своїй теорії не враховує зміну форми тіла при подрібненні, отже, вона не може бути придатною для опису процесу подрібнення, коли готовий продукт має малу площу поверхні.

Об'ємна теорія, розроблена В.Л. Кирпичовим і Ф. Кіком, встановлює, що робота, витрачена на подрібнення, прямо пропорційна обсягом деформованої частини тіла

$$A_V = K_2 \cdot V, \quad (1.3)$$

де K_2 - коефіцієнт пропорційності;

V - об'єм деформованої частини тіла, м³.

Відповідно до теорії Кирпичева-Кіка енергія, що витрачається на деформування матеріалу, не враховує витрати на утворення нових поверхонь.

Цю теорію доцільно застосовувати при грубому подрібненні, коли вплив знову утворених поверхонь в кінцевому продукті незначне.

Аналітичні розрахунки витрат енергії за виразами об'ємної і поверхневої теорій дають лише наближені до досвідченим даними значення. Це говорить про їхню недосконалість.

Об'єднавши рівняння (1.2) і (1.3), зробив припущення, що робота, що витрачається на подрібнення, прямо пропорційна середньому геометричному з обсягу і площі поверхні матеріалу, що подрібнюється

$$A = K \cdot \sqrt{VF} . \quad (1.4)$$

Теорія також не враховує конкретних умов, при яких відбувається руйнування.

Розглянуті теорії подрібнення відображають лише частину складних процесів, що протікають при подрібненні. В реальності ж при подрібненні деформування і утворення нових поверхонь відбувається одночасно. В зв'язку з цим П.А. Ребиндером [28] була створена узагальнена теорія подрібнення, з якої випливає, що повна робіт подрібнення дорівнює сумі робіт, витрачаються на деформації в деформуємій частини обсягу руйнуємого матеріалу і на утворення нових поверхонь

$$A = A_V + A_F = K \cdot \Delta V + \alpha \cdot \Delta F , \quad (1.5)$$

де A - робота, необхідна для подрібнення, Дж;

A_V - робота деформації в обсязі матеріалу, Дж;

A_F - робота, витрачена на утворення нових поверхонь, Дж;

K - коефіцієнт пропорційності;

ΔV - деформована частина обсягу матеріалу, м³;

α - коефіцієнт пропорційності, що враховує енергію поверхневого натягу матеріалу, що подрібнюється;

ΔF – приріст площі поверхні матеріалу, м².

Розглядаючи процес подрібнення по Ребиндер, можна відзначити, що робота утворення нових поверхонь A_F є корисною, а робота пружних деформацій A_V – некорисної. При цьому ККД процесу подрібнення дуже низький і становить

$$\eta = \frac{A_F}{A_V + A_F}. \quad (1.6)$$

Як показує формула (1.6), що для підвищення ККД процесу подрібнення необхідно: зменшити роботу пружних деформацій A_V , а також створити умови перенапруги частинок матеріалу, що подрібнюється, що призведе до збільшення роботи, що витрачається на утворення нових поверхонь A_F .

Аналіз представлених теорій подрібнення показує, що вони застосовуються лише тільки для дослідження з метою виявлення впливу величини роботи, на подрібнення.

Спираючись на розроблену теорію П.А. Ребиндера, С.В. Мельников запропонував формулу для визначення витрат роботи на процес подрібнення [28]

$$A_{зм} = C_1 \cdot \lg \lambda^3 + C_2 \cdot (\lambda - 1), \quad (1.7)$$

де $A_{зм}$ - ступінь подрібнення;

C_1, C_2 - емпіричні коефіцієнти, що залежать від фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється, Дж/кг.

1.10 Огляд патентів конструкцій і елементів молоткових дробарок

Патент UA 118558 «Молоткова дробарка» [31] (Рисунок В.1.13).

Молоткова дробарка містить корпус із завантажувальною горловиною і вивантажувачем, всередині якого розміщена робоча камера з ротором, оснащеним молотками, встановлена колосникова решітка, причому молотки кріпляться до вісі через амортизатори, між корпусом якого та упором молотка розміщена пружина, а робоча частина молотка виконана у вигляді котка та роликів, які мають поперечні пази, що утворюють зуби.

Пропонована молоткова дробарка складається з корпусу 1 з завантажувальною горловиною. Всередині розміщена робоча камера 2, по центру якої проходить ротор 3, на якому закріплені диски 4. Внизу корпусу розташована колосникова решітка 5. В дисках 4 встановлено вісь 6 для кріплення молотків. Між дисками на осі 6 розміщені амортизатори 7, пов'язані з 60 молотками 8. Робоча частина молотка виконана у вигляді котка 9 та роликів 10, закріплених на 2 осях 11. Вони мають поперечні пази, що утворюють зуби, між корпусом 12 амортизатора 7 та упором молотка 8 розміщена пружина 13. Під колосниковою решіткою 5 розташований вивантажувач 14.

Пропонована конструкція дозволить суттєво збільшити ефективність подрібнення та зменшення часу. В конструкції забезпечується рівномірне зношення роликів та котків.

Молоткова дробарка, що містить корпус із завантажувальною горловиною і вивантажувачем, всередині якого розміщена робоча камера з ротором, оснащеним молотками, встановлена колосникова решітка, яка відрізняється тим, що молотки кріпляться до осі через амортизатори, між корпусом якого та упором

молотка розміщена пружина, а робоча частина молотка виконана у вигляді котка та роликів, які мають поперечні пази, що утворюють зуби.

Патент UA 117990 «Молоткова дробарка» [32] (Рисунок Д.1.14). Молоткова дробарка містить решітку, вал із несучими дисками, пальці та шарнірно встановлені на них молотки. Отвори під пальці в несучих дисках мають видовжену форму, а самі пристрої радіального зміщення пальців одночасно і молотків розміщені безпосередньо на несучих дисках. Кількість пристроїв зміщення пальців становить, залежно від ширини робочої камери, не менше двох стосовно кожного пальця.

Корисна модель належить до пристроїв для подрібнення матеріалів і може бути використана у переробній промисловості, сільськогосподарському виробництві та інших галузях народного господарства.

В основу корисної моделі поставлена задача: підвищення ефективності та довговічності роботи дробарки в результаті удосконалення конструкції, зменшення часу на її технічне обслуговування.

Молоткова дробарка, згідно з корисною моделлю, схематично зображена на фіг. 1, а форма та схема розміщення отворів для встановлення пальців на несучих дисках - на фіг. 2. Молоткова дробарка складається з корпусу 1, в якому розміщені решітка 2 і на горизонтальному валу молотковий ротор 3. Останній має несучі диски 4 з отворами 5, в яких встановлені пальці 6 з шарнірно підвішеними молотками 7. При цьому пальці 6 жорстко 30 закріплені на дисках 4 за допомогою пристроїв зміщення 8.

Молоткова дробарка, що містить решітку, вал із несучими дисками, пальці та шарнірно встановлені на них молотки, яка відрізняється тим, що отвори під пальці в несучих дисках мають видовжену форму, а самі пристрої радіального зміщення пальців одночасно і молотків розміщені безпосередньо на несучих дисках, причому кількість пристроїв зміщення пальців становить, залежно від ширини робочої камери, не менше двох стосовно кожного пальця.

Патент UA 113310 «Малогабаритна молоткова дробарка комбінованої дії» [33] (Рисунок Е.1.15). Малогабаритна молоткова дробарка комбінованої дії містить корпус із завантажувальною і вивантажувальною горловинами та решето, всередині якого розміщена робоча камера з ротором, на якому шарнірно закріплені молотки. На внутрішній поверхні корпусу додатково встановлені нерухомі пластини у вигляді сектора кільця.

Малогабаритна молоткова дробарка комбінованої дії містить завантажувальну 1 та вивантажувальну 2 горловини, корпус 3 з рифленою внутрішньою поверхнею 4 всередині якого знаходиться робоча камера 5 з ротором. Ротор складається з вала 6, на якому розміщені диски 7, на яких за допомогою осей 8 шарнірно закріплені молотки 9. У нижній частині корпусу 3 міститься решето 10. На внутрішній поверхні корпусу нерухомо закріплені набір пластин 11 таким чином, що пластина 11 розташована на однаковій відстані між двома сусідніми молотками 9. Рівномірне розміщення молотків відносно нерухомих пластин забезпечується за допомогою втулок 12.

Малогабаритна молоткова дробарка комбінованої дії, що містить корпус із завантажувальною і вивантажувальною горловинами та решето, всередині якого розміщена робоча камера з ротором, на якому шарнірно закріплені молотки, яка відрізняється тим, що на внутрішній поверхні корпусу додатково встановлені нерухомі пластини у вигляді сектора кільця.

Патент 020274 «Молоткова дробарка» [34] (Рисунок Ж.1.16). Винахід відноситься до молоткової дробарці для підготовки корму, що містить утворює камеру дробарки корпус дробарки, який на своїй окружній стінці забезпечений двома ситова зонами, які мають отвори сита з різному великими діаметрами отворів, і встановлений в камері дробарки з можливістю приведення в обертання, забезпечений молотами ротор.

Інші ознаки і переваги винаходу впливають з наведеного нижче опису прикладів виконання з посиланнями на прикладені креслення, на яких зображено: фіг. 1 – молоткова дробарка відповідно до винаходу на вигляді зверху

в камеру дробарки; фіг. 2 – частковий розріз молоткової дробарки згідно фіг. 1 на вигляді під кутом.

На кресленнях показана позначена в цілому позицією 10 молоткова дробарка в частково спрощеному вигляді, при цьому конструктивні елементи, які не істотні для винаходу, частково не зображені.

Молоткова дробарка для підготовки корму, що містить утворює камеру дробарки корпус дробарки, який на своїй окружній стінці забезпечений двома ситова зонами (I, II) з різними діаметрами отворів, і встановлений в камері дробарки з можливістю приведення в обертання, забезпечений молотами ротор, яка відрізняється тим, що ротор встановлений з можливістю приведення в обертання в протилежних напрямках обертання і що молоти забезпечені кожен двома ударними поверхнями, у тому числі одні діють в одному напрямку обертання, а інші – в протилежному напрямку обертання.

Патент RU 2477657 «Молоткова дробарка» [35] (Рисунок И.1.17). Винахід відноситься до молотковим дробарки для подрібнення еластичних матеріалів. Воно може бути найбільш широко використано для подрібнення гумових відходів, зокрема зношених автопокришок.

Завдання цього винаходу - підвищення ступеня подрібнення гумових відходів. Ще одне завдання - підвищення продуктивності дробарки.

Пропонована дробарка в поздовжньому розрізі показана на рис.1. Вона містить корпус 1 з приймальні 2 і розвантажувальної 3 воронками, підшипниками 4 для вала 5 з ротором 6 і підвішеними до нього пластинчастими загостреними по периметру білами 7. Під ротором 6 в розвантажувальної воронці 3 встановлена просівають решітка 8, а під нею до боковини розвантажувальної воронки 3 приєднаний всмоктуючий патрубок 9 вентилятора 10, закріпленого на корпусі 1 дробарки. Ротор 11 вентилятора змонтований на валу 5. Равлик вентилятора 10 має центральний отвір для всмоктування повітря через патрубок 9 і тангенціальний нагнітальний патрубок 12, з'єднаний також тангенціально з циклоном 13, закріпленим на корпусі 1. Циклон 13 має верхній вихідний

патрубок 14 для текстильного корду і нижній патрубок 15 для гумового порошку. Вал 5 з'єднаний з електродвигуном 16 через муфту 17. Електродвигун 16 і корпус 1 дробарки закріплені на опорній рамі 18.

Молоткова дробарка, яка містить корпус з приймальні і розвантажувальної воронками, підшипниками для валу з ротором і пластинчастими білами з гострими крайками, під якими розміщена просівають решітка, яка відрізняється тим, що на хвостовику вала закріплена маточина з лопатями вентилятора, розміщеними всередині равлики, що всмоктує патрубок якої з'єднаний з підгратного простором розвантажувальної воронки, а нагнітальний патрубок тангенціально закріплений до змонтованого на корпусі циклону.

Патент UA 58430 «Молоткова дробарка для виробництва кубоподібного щебеню» [36] (рисунок К.1.18). Цей винахід відноситься до кам'янодробарного обладнання. Запропонована дробарка знайде застосування у технологіях з виробництва кубовидного щебеню з твердих гірничих порід (граніту).

Найякісніший щебінь (по формі зерен) отримують від дробарок ударно-відбивної дії, де використовується ефект зустрічного удару. Але подібна техніка має свої недоліки, особливо під час переробки твердих гірничих порід.

Забезпечивши необхідне відношення швидкостей молотків ротора та руху переробного матеріалу досягається необхідний ефект зустрічного удару (вліт), внаслідок чого на виході одержуємо щебінь з кубовидною формою зерен.

Дробарка, що виконана у відповідності з цим винаходом – надійна у роботі, дозволяє збільшити ресурс робочих органів мінімум у два рази.

Витрати на виготовлення та експлуатацію дробарки запропонованої конструкції у 3-4 рази менші, ніж на аналоги подібних машин, що виробляються сьогодні.

Молоткова дробарка для виробництва кубоподібного щебеню, що містить корпус з розміщеним усередині нього ротором з молотками, завантажувальний отвір, розвантажувальний отвір, відбивні плити, розташовані всередині

дробильної камери, та електропривід, яка відрізняється тим, що дробарка додатково містить полиці, які розташовані всередині дробильної камери, на кожній з яких розміщений щебін з укосом, шибер для регулювання зазору між молотками у русі та одним з укосів щебеню, а відбивні плити формують криволінійну відбивну поверхню з можливістю відвернення рикошету від неї переробного матеріалу на ротор та одночасного спрямування матеріалу на інший укіс щебеню.

Патент UA 54070 «Молоткова дробарка» [37] (Рисунок М.1.19). Корисна модель відноситься до пристроїв для подрібнення матеріалів, а саме до молоткових дробарок, і може бути використана в гірничозбагачувальній і будівельній галузях промисловості, а також в теплоенергетиці, наприклад, на паливоподачі теплових електростанцій, і інших галузях промисловості, які пов'язані з переробкою мінеральної сировини.

У пропонованій же дробарці верхня ударна частина молотка шарнірно сполучена з котком, виконаним у вигляді циліндра та з'єднаного за допомогою вісі, яка паралельна вісі ротора.

На Фіг.1 схематично зображена пропонована молоткова дробарка. На Фіг.2 – переріз А-А, що на Фіг.1.

Пропонована конструкція дозволить збільшити термін служби молотків і решітки, а також підвищує ефективність подрібнення матеріалу.

Молоткова дробарка, що містить корпус із завантажувальною горловиною і вивантажувачем, всередині якого розміщена робоча камера з ротором, оснащеним молотками із змінною робочою частиною, і встановлена колосникова решітка, яка відрізняється тим, що робоча частина молотка виконана у вигляді циліндрового котка, шарнірно сполученого з тілом молотка за допомогою осі, паралельної осі ротора.

Патент UA 49573 «Дробарка молоткова» [38] (Рисунок Н.1.20). Корисна модель відноситься до галузі сільського господарства, хіміко-фармацевтичного

виробництва, гірничої промисловості і може бути використана в дробарках для механічного ділення твердих тіл на менші частини.

Задачею корисної моделі є підвищення продуктивності дробарки та їх довговічності. Задача вирішується тим, що нижня поверхня молотків виконана у формі опуклої кривої, а дека має ступінчасту поверхню зі зменшенням відстані між нею та молотками у напрямку їх руху, при цьому поздовжні отвори деки розміщені під кутом до напрямку руху часток. На Фіг.1 показана схема дробарки, на Фіг.2 – робочий орган дробарки, на Фіг.3 – конфігурація поверхні деки.

Працює дробарка таким чином. При обертанні барабана 2 з дисками 3 та молотками 4 останні передніми гранями співударяються з матеріалом, який подрібнюється. При цьому відбувається процес розділення матеріалу на менші частки. Частки, які мають меншу товщину порівняно з отворами, проходять через них під деку 1, інші частки співударяються з наступними молотками 4, які продовжують процес розколювання та подрібнення матеріалу на частки і направлення їх до отворів деки. Підвищують продуктивність процесу за рахунок використання основи молотків у вигляді опуклої кривої, а також за рахунок використання деки у вигляді ступінчастої поверхні зі зменшенням зазору між декою і молотками в напрямі руху молотків. Розміщення поздовжніх отворів деки під кутом до напрямку руху часток сприяє процесу подрібнення їх та зменшенню забивання отворів решіт частками.

Патент RU 2279920 «Молоткова дробарка» [39] (Рисунок Р.1.21). Винахід відноситься до молотковим дробарки і може бути використано в сільськогосподарській, будівельній, гірничорудної та інших галузях промисловості.

Молоткова дробарка містить дробильну камеру з молотковим ротором, вхідні горловину, яка розташована по центру дробильної камери, обвідний канал зі стінками, що переходять в деку і пов'язаними з дробильної камері під прямим кутом, в центрі обвідного каналу розташовано вивантажний пристосування, забезпечене дефлектором, додаткова стінка обвідного каналу в місці примикання

до дробильної камері виконана перфорованої і спільно з зовнішньою стінкою обвідного каналу утворює камеру для відводу запиленого повітря. Винахід дозволяє підвищити ефективність роботи дробарки.

Молоткова дробарка, яка містить дробильну камеру з молотковим ротором, вхідні горловину, розташовану по центру дробильної камери, обвідний канал зі стінками, що переходять в деку, і вивантажувального пристосування. Згідно винаходу стінки обвідного каналу примикають до дробильної камері під прямим кутом, при цьому обвідний канал забезпечений додатковою перфорованою стінкою, що примикає до дробильної камері і утворює з зовнішньою стінкою обвідного каналу камеру для відводу запиленого повітря. Вивантажний пристосування розташоване в центрі обвідного каналу.

З'єднання стінок обвідного каналу під прямим кутом до дробильної камері дозволяє направляти частки, що рухаються на доізмелювання, безпосередньо на молотки ротора. Конструкція додаткової стінки обвідного каналу дозволяє відокремлювати великі частки матеріалу від пилу за рахунок того, що пил проходить через отвори додаткової стінки обвідного каналу.

Сукупність зазначених ознак дозволить забезпечити ефективну роботу дробарки, збільшити пропускну здатність і отримати продукт, відповідний зоотехнічним вимогам.

Патент RU 2209667 «Молоткова дробарка» [40] (Рисунок С.1.22). Дробарка відноситься до пристроїв для подрібнення матеріалів і може бути використана в сільському господарстві, а також у комбікормової та інших галузях промисловості.

Молоткова дробарка містить камеру подрібнення, ротор, вікно вивантаження і повернення зерна, виконане у верхній частині стінки камери, вікно завантаження, розташоване в бічній стінці камери, завантажувальний бункер, повідомлений з вікном завантаження, розділову камеру, виконану у вигляді відхиленого від вертикалі по ходу обертання ротора трубопроводу, зовнішня стінка якого в місцях з'єднання з камерою подрібнення і вивантажний

горловиною для зменшення опору повітряного потоку виконана у вигляді логарифмічною спіралі, про це камера подрібнення безпосередньо з'єднана з розділовою камерою. Винахід дозволяє підвищити ефективність процесу поділу і знизити енерговитрати.

Винахід направлено на рішення наступного завдання: забезпечити за рахунок конструктивного виконання підвищення ефективності процесу поділу і зниження енерговитрат.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що молоткова дробарка, яка містить камеру подрібнення з розміщеним в ній ротором і виконаними в її верхній частині стінки вікном вивантаження і повернення недоізмельченого зерна і вікном завантаження, що знаходяться в боковій стінці камери подрібнення, завантажувальний бункер, повідомлений з вікном завантаження, розділову камеру, вивантажувальну горловину, згідно винаходу, камера подрібнення вікном вивантаження і повернення недоізмельченого зерна для зниження циркулюючого повітряно-продуктового шару в камері измельчення безпосередньо з'єднана з розділовою камерою, виконаної у вигляді відхиленого від вертикалі по ходу обертання ротора трубопроводу, зовнішня стінка якого в місцях з'єднання з дробильною камерою і вивантажний горловиною для зменшення опору повітряного потоку має форму логарифмічною спіралі. Сукупність вищевказаних істотних ознак дозволить підвищити ефективність процесу поділу матеріалу і знизити енерговитрати.

Патент RU 2031711 «Молоткова дробарка» [41] (Рисунок Т.1.23). Суть винаходу: дробарка містить корпус 1, ротор 2 з пакетами молотків. Передня стінка завантажувального пристрою утворює зі стінкою корпусу повітровідводящий канал 3. Фіг.1.

Винахід відноситься до механізації технологічних процесів виробництва, призначене для подрібнення зернових матеріалів і може бути використане як в комбікормової, так і в хімічній галузях.

Завданням винаходу є поліпшення якості подрібненого матеріалу і зменшення енерговитрат.

В заявляється вирішенні повітряний потік не робить кругового руху в робочій камері при підході до повітровідводящего каналу, він під дією відцентрової сили сходить з робочих поверхонь молотків, що наближаються до завантажувального пристрою, і направляється в атмосферу, створюючи таким чином молотків умови реалізації жорсткого ударної дії на подрібнюється матеріал.

Експериментально встановлено, що в запропонованій конструкції дробарки можна менше використовувати робочі швидкості молотків за рахунок жорстких ударних впливів їх на подрібнюється матеріал, що призводить до зменшення витрат електроенергії.

1.11 Висновки по розділу

Аналіз існуючих подрібнюючих машин показав, що основними машинами для подрібнення різних матеріалів є молоткові дробарки. Існуючі в даний час конструкції молоткових дробарок за рахунок універсальності в їх конструкції – знижується їх продуктивність і збільшується енергоємність процесу подрібнення.

Рівномірна подача матеріалу до робочих органів молотковій дробарки дозволяє підвищити якість подрібнення. З метою виявлення найбільш перспективної конструктивно-технологічної схеми пристрою живлення був проведемо їх аналіз, який показав, що найбільш повно задовольняють вимогам – живильники барабанного типу з жолобами.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЕННЯ

2.1 Конструктивно-технологічна схема молоткової дробарки

Високий коефіцієнт внутрішнього і зовнішнього тертя призводять до поганої сипучості вугілля і нерівномірної подачі до робочих органів дробарки, в результаті чого збільшується енергоємність процесу подрібнення і знижується продуктивність.

Вченими були розроблені перспективні схеми молоткових дробарок з живильним пристроєм, що дозволяє рівномірно подавати подрібнюється матеріал до ротора дробарки [42].

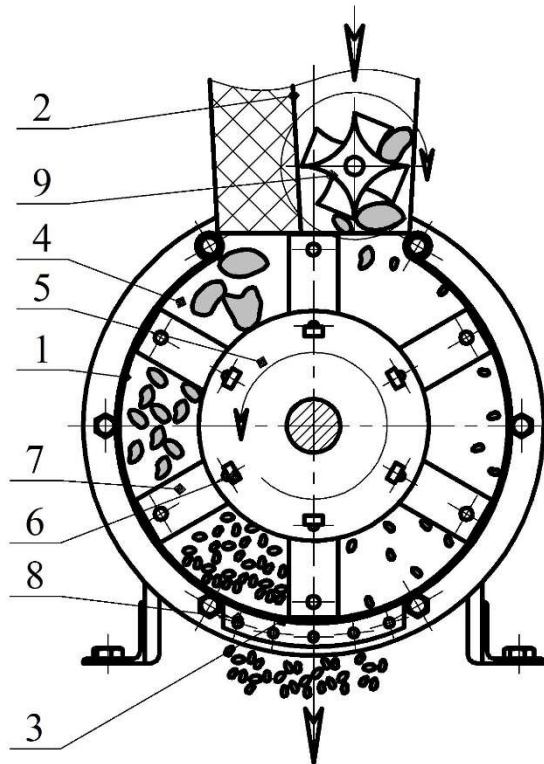
Конструкція молоткової дробарки дозволяє рівномірно подавати матеріал, що подрібнюється, до його робочим органам, за рахунок чого знижується динамічне навантаження на вал ротора дробарки. Так само знижується енергоємність процесу подрібнення і збільшується продуктивність.

Молоткова дробарка (Рисунок 2.1) складається з корпусу 1 з завантажувальним бункером 2 і вивантажним вікном 3, дробильної камерою 4. У середині корпусу встановлено співвісно з ним ротор 5 з шарнірно закріпленими за допомогою пальців 6 молотками 7.

Так само в корпусі 1 навпроти вивантажного вікна 3 встановлено решето 8. У горловині завантажувального бункера 2 змонтовано пристрій живлення 9, що представляє собою циліндр з чотирма жолобами, протилежні сторони якого повернуті відносно один одного.

Пропоноване пристрій живлення 9 відповідає наступним основним вимогам:

- а) здійснює рівномірну подачу матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молотковій дробарки;



1 – корпус; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вивантажний вікно; 4 – дробильна камера; 5 – ротор; 6 – палець; 7 – молоток; 8 – решето; 9 – пристрій живлення

Рисунок 2.1 – Молоткова дробарка

- б) забезпечує попереднє подпресовування матеріалу що подрібнюється перед попаданням в дробильну камеру;
- в) забезпечує необхідну пропускну здатність і герметичність.

Молоткова дробарка працює в такий спосіб. Робота пристрою живлення здійснюється від індивідуального приводу з регулятором числа обертів.

З бункера матеріал надходить в завантажувальний бункер 2, звідки за допомогою пристрою живлення 9, потрапляє в корпус 1 з дробильною камерою 4, де втягується в обертальний рух і під дією відцентрових сил накопичується в робочій зоні молотків 7, шарнірно закріплених за допомогою пальців 6 на роторі 5. Потрапляючи на робочу поверхню молотків 7, матеріал за рахунок удару подрібнюється. Частково подрібнений матеріал під дією швидкості, повідомленої молотками 7, вдаряються з великою швидкістю про корпус дробарки, а також решето 8. Через отвори решета 8 подрібнений матеріал

видаляється з дробильної камери в вивантажний вікно 3. Частинки, розміри яких менше розмірів отворів решета 8, проходять ці отвори і через вивантажний вікно 3 видаляються з дробарки. Більші частинки, які не пройшли через отвори решета 8, піддаються додатковому подрібненню.

Молоток (Рисунок 2.2) являє собою пластину 1, уздовж якої розташовані отвори 2 для його кріплення, радіуси від вершин яких до точки підвісу рівні.

Досліджувана молоткова дробарка являє собою сукупність кількох окремих, але взаємопов'язаних технологічним процесом об'єктів, кожен з яких виконує певні технологічні операції, на які роблять значний вплив вхідні і вихідні параметри.

Досліджувану молоткову дробарку можна уявити, що складається з наступних елементів:

- а) завантажувального бункера з живильним пристроєм,
- б) подрібнювального апарата з експериментальними робочими органами,
- в) решетом і вивантажний горловиною.

Вхідними параметрами, що впливають на робочий процес завантажувального бункера з живильним пристроєм, є: фізико-механічні властивості матеріалу, що подрібнюється (вологість W , насипна щільність ρ),

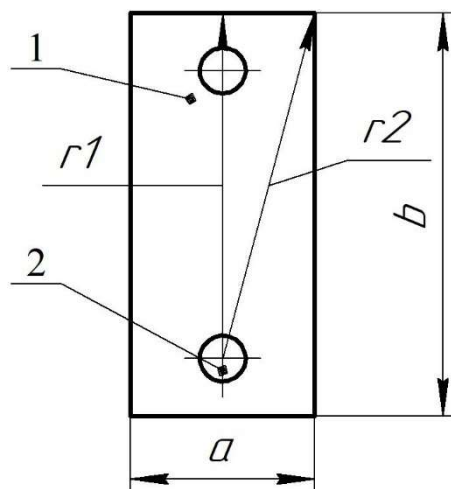


Рисунок 2.2 – Молоток дробарки

конструктивні і режимні параметри пристрою живлення (коефіцієнт використання обсягу жолоби живильного пристрою K_V , частота обертання валу живильного пристрою n_n , кількість жолобів $z_{жс}$) [68].

Вихідними параметрами, що визначають роботу живильного пристрій, що подає матеріалу до подрібнюючого апарату, є: величина подачі Q_{II} витрати потужності на подачу матеріалу, що подрібнюється $P_{под}$, енергоємність процесу подачі $E_{под}$ і нерівномірність подачі Δq .

Вхідними параметрами, що впливають на роботу подрібнювального апарата, є конструктивні і режимні параметри робочих органів (кількість молотків Z_M , форма робочої поверхні молотків Φ_M , окружна швидкість молотків v_M).

Вихідними параметрами молоткової дробарки, на основі яких проводиться оцінка її робочого процесу, є:

- а) продуктивність Q ;
- б) витрати потужності на процес подрібнення P_{II} ;
- в) енергоємність процесу подрібнення E ;
- г) коефіцієнт якості готового продукту K_K .

Таким чином, для спрощення теоретичних досліджень процесу подрібнення в молотковій дробарці було прийнято рішення умовно розділити пристрій на окремі об'єкти, а їх взаємодія в системі, згодом, описати за допомогою додаткових залежностей.

2.2 Аналіз нерівномірності подачі матеріалу що подрібнюється

Маса матеріалу, що подрібнюється m , що подається за один оберт живильного пристрою, можна визначити за формулою

$$m = \int_0^{2\pi R_{II}} q \cdot dl_o, \quad (2.1)$$

де q - функція розподілу маси по довжині ротора живильного пристрою, кг/м;

l_o - довжина кола живильного пристрою, м.

Виконавши усереднення підінтегральної функції

$$\bar{q} = \frac{1}{2\pi R_{II}} \int_0^{2\pi R_{II}} q \cdot d2\pi R_{II}, \quad (2.2)$$

можна записати

$$m = \bar{q} 2\pi R_{II} = \rho K_V V_{Ж}, \quad (2.3)$$

де ρ - насипна щільність матеріалу, що подрібнюється, кг/м³;

K_V - коефіцієнт використання об'єму жолоби ($K_V = 0,95$);

$V_{Ж}$ - обсяг одного жолоба живильного пристрою, м³.

Подача матеріалу до робочих органів молоткової дробарки буде рівномірною, тільки в тому випадку, коли маса матеріалу в жолобі живильного пристрою буде однаковою, крім того, для виконання умови рівномірності подачі необхідно, щоб швидкість обертання валу живильного пристрою і робочих органів молоткової дробарки відповідали один одному, тобто

$$q = \frac{v_{II} S_{ПОГ} \rho}{v_M}, \quad (2.4)$$

де v_{II} - окружна швидкість обертання пристрою живлення, м/с;

$S_{ПОГ}$ - площа поперечного перерізу потоку матеріалу, м²;

v_M - окружна швидкість молотків, м/с.

Вираз (2.4) можна прийняти в якості умови рівномірності процесу подачі матеріалу, що подрібнюється живильним пристроєм до робочих органів молоткової дробарки.

Слід зазначити, що математична модель (2.4), вимагає уточнень шляхом введення коефіцієнтів, що враховують неповне заповнення обсягу жолоби живильного пристрою і т.п., які мають місце в робочому процесі живильника.

На підставі математичної моделі (2.4) умова рівномірності подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки в загальному випадку можна вважати

$$q = \varphi(\rho, S_{\text{пот}}, v_{\text{п}}, v_M). \quad (2.5)$$

Повний диференціал функції (2.5) має вигляд

$$dq = \frac{\partial \varphi}{\partial \rho} d\rho + \frac{\partial \varphi}{\partial S_{\text{пот}}} dS_{\text{пот}} + \frac{\partial \varphi}{\partial v_{\text{п}}} dv_{\text{п}} + \frac{\partial \varphi}{\partial v_M} dv_M. \quad (2.6)$$

Похідні функції (2.6) характеризують вплив відхилень відповідного технічного, експлуатаційного або режимного параметра на розсіювання матеріалу при його подачі до робочих органів молоткової дробарки.

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \rho} = \frac{S_{\text{пот}} v_{\text{п}}}{v_M}, \frac{\partial \varphi}{\partial S_{\text{пот}}} = \frac{\rho v_{\text{п}}}{v_M}, \frac{\partial \varphi}{\partial v_{\text{п}}} = \frac{\rho S_{\text{пот}}}{v_M}, \frac{\partial \varphi}{\partial v_M} = \frac{\rho S_{\text{пот}} v_{\text{п}}}{v_M^2}. \quad (2.7)$$

При заміні в вираженні (2.7) диференціалів відповідними приростами і приймаючи значення приватних похідних по абсолютній величині, отримуємо формулу для визначення впливу технологічних і експлуатаційних параметрів на сумарну нерівномірність подачі матеріалу [43]

$$\Delta q = q_{\rho} + q_{S_{\text{пот}}} + q_{v_{\Pi}} + q_{v_M}, \quad (2.8)$$

де

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta q_{\rho} = \frac{S_{\text{пот}} v_{\Pi}}{v_M} = \Delta q, \\ \Delta q_{S_{\text{пот}}} = \frac{\rho v_{\Pi}}{v_M} = \Delta S_{\text{пот}}, \\ \Delta q_{v_{\Pi}} = \frac{\rho S_{\text{пот}}}{v_M} = \Delta v_{\Pi}, \\ \Delta q_{v_M} = \frac{\rho S_{\text{пот}} v_{\Pi}}{v_M^2} = \Delta v_M. \end{array} \right. \quad (2.9)$$

У рівності (2.8) Δq характеризує загальну нерівномірність процесу подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки, а члени $\Delta q_{\rho}, \Delta q_{S_{\text{пот}}}, \Delta q_{v_{\Pi}}, \Delta q_{v_M}$ визначають нерівномірність подачі матеріалу, обумовлені, відповідно відхиленнями насипної щільності матеріалу, що подрібнюється, площі поперечного перерізу потоку матеріалу, окружної швидкості обертання пристрою живлення і молотків дробарки від номінальних значень відповідних параметрів .

2.3 Визначення величини подачі матеріалу, що подрібнюється живильним пристроєм

Для оцінки кількісного показника роботи пристрою живлення потрібно визначення його величини подачі, тобто продуктивності по подачі. Теоретично

величина подачі живильників барабанного типу з обертовим робочим органом визначається за формулою [43]

$$Q = 60 \cdot F_{\text{ж}} \cdot l \cdot z_{\text{ж}} \cdot n_{\text{п}} \cdot \rho, \quad (2.10)$$

де $F_{\text{ж}}$ - площа поперечного перерізу жолоба, м^2 ;

l - довжина вала ротора живильного пристрою, м ;

$z_{\text{ж}}$ - кількість жолобів;

$n_{\text{п}}$ - частота обертання валу живильного пристрою, хв^{-1} ;

ρ - насипна щільність матеріалу, що подрібнюється, $\text{кг}/\text{м}^3$.

З формулі (2.10) видно, що величина подачі живильного пристрою залежить від площі поперечного перерізу робочого жолоби. Так як, пропонуваній пристрій живлення являє собою циліндр з чотирма жолобами, протилежні сторони якого повернуті відносно один одного, тоді обсяг матеріалу, що подрібнюється, яка заповнила жолоб (Рисунок 2.3): $V_{\text{ж}} = F_{\text{ж}} l_{\text{л}}$, де $l_{\text{л}} = 1,2l$, l – довжина вала ротора живильного пристрою, м .

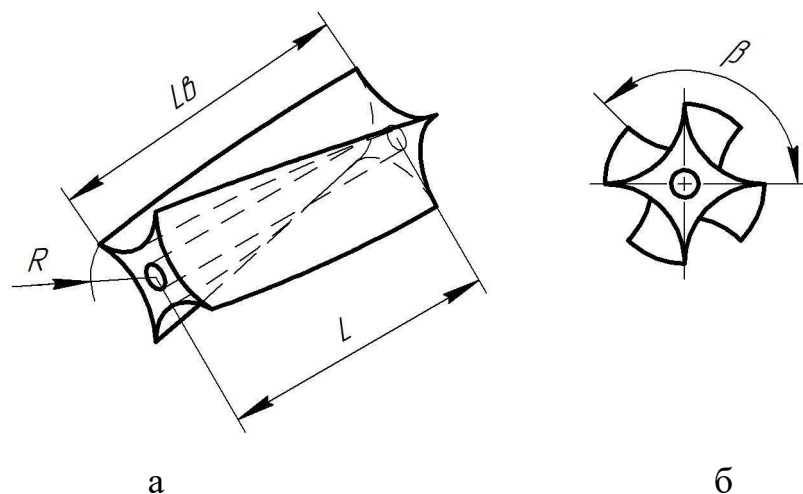


Рисунок 2.3 – Схема до визначення величини подачі живильного пристрою

Загальна маса матеріалу, що подрібнюється, що потрапив в жолоб пристрої, на рисунку (Рисунок 2.3) зображена штрихуванням, можна визначити за формулою

$$F_{ж} = R_{\Pi}^2 \left(\frac{\pi\varphi}{180^\circ} - \sin \varphi \right), \quad (2.11)$$

де φ - кут між двома поверненими лопатями, $\varphi=135^\circ$;

R_{Π} - радіус барабана пристрою живлення, м.

Підставами вираз (2.11) в (2.10), отримаємо формулу для визначення величини подачі пропонованого нами пристрою живлення

$$Q_{\Pi} = 60l_{\Pi} R_{\Pi}^2 \left(\frac{\pi\varphi}{180^\circ} - \sin \varphi \right) z_{ж} n_{\Pi} \rho K_V K_{\Pi}, \quad (2.12)$$

де K_V - коефіцієнт заповнення обсягу жолоби живильного пристрою, характеризує ступінь використання обсягу жолоби, $K_V = 0,97$;

K_{Π} - коефіцієнт опресовування матеріалу, що подрібнюється, залежить від виду матеріалу, що подрібнюється, $K_{\Pi} = 1,5 - 3$.

Графік теоретичної залежності величини подачі Q_{Π} від частоти обертання валу живильного пристрою n_{Π} отриманий з аналітичного виразу (2.12).

Залежність величини подачі K_{Π} від частоти обертання валу живильного пристрою n_{Π} для вугілля представлена на рисунку (Рисунок 2.4).

Як видно з рисунка (Рисунок 2.4), що з збільшення частоти обертання валу живильного пристрою до 70 хв^{-1} збільшується і подача. Подальше збільшення тягне за собою падіння величини подачі так як насипна щільність матеріалу, що подрібнюється досить низька до 300 кг/м^3 , то чим більше частота обертання, тим менше відбувається заповнення жолоба живильного пристрою.

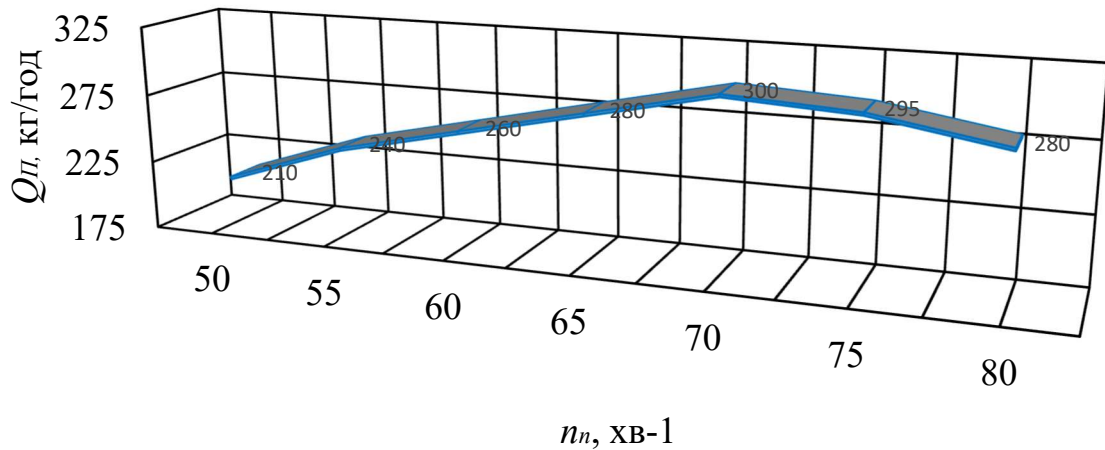


Рисунок 2.4 – Теоретична залежність величини подачі Q_{Π} від частоти обертання валу живильного пристрою n_{Π}

2.4 Вибору конструкції пристрою живлення і аналіз впливу його параметрів на процес подачі матеріалу

З метою визначення основних конструктивно-режимних і технологічних параметрів пристрою живлення, що подає вихідний матеріал до робочих органів молоткової дробарки, виникла необхідність проведення теоретичних досліджень даного процесу.

Одними з основних параметрів, що впливають на процес подачі, є:

- частота обертання валу живильного пристрою;
- швидкість введення матеріалу, що подрібнюється в дробильну камеру;
- траєкторія руху частинки до робочих органів дробарки.

Розглянемо робочий процес молоткової дробарки з живильним пристроєм. Для цього такі припущення:

- а) маса матеріалу, що заповнює елементарний сектор жолоби живильного пристрою, зосереджена в одній точці і в подальшому буде розглядатися як рух матеріальної точки;
- б) частка приводиться в рух за допомогою впливу на неї лопаті жолоби живильного пристрою;
- в) матеріал повністю заповнює елементарний сектор жолоби;

Пристрій живлення обертається з кутовою швидкістю ω_{II} і подає масу матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки зі швидкістю v_{IM} . Одночасно з цим ротор молоткової дробарки обертається з кутовою швидкістю ω_R . У якийсь момент часу частинка досягне молотка, шарнірно закріпленого на роторі, потім її рух буде залежати від кінематичних параметрів молоткового ротора дробарки. Отже, для вивчення траєкторії руху частинки після сходу її з лопаті живильного пристрою необхідно вивчити вплив його конструктивно-режимних і технологічних параметрів на значення і напрямок швидкості введення частинок матеріалу, що подрібнюється.

Розглянемо більш докладно робочий процес живильного пристрою. Робочий процес живильного пристрою можна розділити на три етапи.

Перший етап – входження лопаті жолоби живильного пристрою в масу матеріалу, що подрібнюється і одночасний її захоплення.

Процес відділення порції матеріалу, що подрібнюється можна порівняти з процесом фрезерування, при цьому в нашому випадку, роль зубів виконують лопаті жолоби живильного пристрою. Траєкторію руху лопаті жолоби можна прийняти за дугу окружності, описуваної її кінцем.

У початковий момент впровадження відбувається часткове зминання і захоплення маси матеріалу, що подрібнюється лопатою жолоби живильного пристрою.

Руйнування і відділення від основної маси матеріалу, що подрібнюється в жолоб живильного пристрою відбувається в горизонтальній площині від

стиснення його лопаттю. Так як на відокремлювану масу діє сила тиску P , то її горизонтальна складова P_x зменшує сили зчеплення основної маси, а вертикальна складова P_y відокремлює подрібнюється матеріал від основної маси (Рисунок 2.5).

Процес відділення подрібнюваної маси від основної та переміщення її до місця розвантаження тісно пов'язаний між собою. У процесі відділення матеріалу, що подрібнюється, лопаттю жолоби частина його обрушується і захоплюється наступної лопаттю.

Другий етап – переміщення порції маси матеріалу, що подрібнюється лопаттю жолоби живильного пристрою щодо стінки горловини бункера до вивантажувального вікна.

Під час роботи пристрій живлення обертається з кутовою швидкістю ω_{Π} , переміщаючи масу матеріалу, що подрібнюється щодо стінки горловини бункера в сторону вивантажного вікна, при цьому відбувається часткове підпресування матеріалу. Частинки, розташовані на зовнішній поверхні живильного пристрою, будуть надходити до робочих органів молоткової дробарки зі швидкістю v_{IM} : $v_{IM} = \omega_{\Pi} \cdot R_{\Pi}$, де R_{Π} - радіус живильного пристрою, м.

Третій етап – розвантаження матеріалу, що подрібнюється з лопаті жолоби живильного пристрою до робочих органів молотковій дробарки. Під час повороту вала живильного пристрою, порція матеріалу, яка заповнила жолоб,

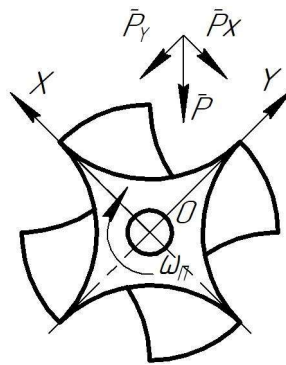


Рисунок 2.5 – Дія сили тиску на масу матеріалу, що подрібнюється, в процесі її захоплення лопатою живильного пристрою

починає переміщатися уздовж його лопаті з відносною швидкістю $v_{ВД}$.

Найголовнішим з трьох етапів робочого процесу пристрою живлення є процес розвантаження. Розглянемо момент початку процесу скидання маси матеріалу, що подрібнюється m з лопаті живильного пристрою. В даний момент на частку матеріалу, що подрібнюється в площині лопаті будуть діяти такі сили (Рисунок 2.6): $\bar{G} = m\bar{g}$ - сила тяжіння; $F = m\omega_{\Pi}^2 \cdot \bar{r}_0$ - відцентрова сила інерції; $\bar{F}_K = 2m\omega_{\Pi}\bar{v}_{ВД}$ - Коріолісова сила інерції; $\bar{F}_{ТЕР} = f\bar{N}$ - сила тертя частинки про лопать; N - сила, що притискає частку до лопаті пристрою живлення (дорівнює сумі складових Коріолісову сили інерції, сили тяжіння і відцентрової сили інерції на площину, перпендикулярну площині лопаті) r_0 - відстань від осі обертання до частки матеріалу, що подрібнюється; f - коефіцієнт тертя маси матеріалу, що подрібнюється о лопать жолоби живильного пристрою.

Складемо диференціальні рівняння руху точки в проекціях на осі X і Y

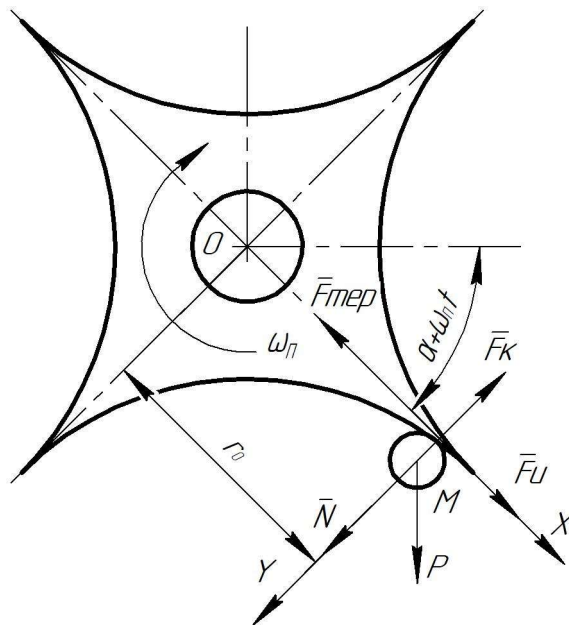


Рисунок 2.6 – Процес розвантаження матеріалу, що подрібнюється, з лопаті живильного пристрою

$$m \frac{dv_X}{dt} = \sum F_X, \quad (2.13)$$

$$m \frac{dv_Y}{dt} = \sum F_Y, \quad (2.14)$$

$$\sum F_X = F_u - F_{TEP} + G \sin(\alpha + \omega_{\Pi} t), \quad (2.15)$$

$$\sum F_Y = N + G \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t) - F_K, \quad (2.16)$$

де t_{Π} - кут повороту лопаті за час t , рад.

Силу, що притискає частку до лопаті пристрою живлення N визначимо виходячи з умови, що матеріальна точка не має можливості переміщення в напрямку осі Y : $N = F_K - G \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t)$. Умова скидання частинок матеріалу, що подрібнюється з лопаті живильного пристрою буде мати вигляд: $\sum F_X \geq F_{TEP}$, де $\sum F_X$ - сума всіх сил, що діють на частинку матеріалу, що подрібнюється, уздовж осі лопаті живильного пристрою.

$$m\omega_{\Pi}^2 r_0 + mg \sin(\alpha + \omega_{\Pi} t) \geq f(2m\omega_{\Pi} v_{від} - mg \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t)). \quad (2.17)$$

Після перетворення виразу (2.17) отримаємо вираз для визначення кута повороту лопаті жолоби, при якому відбувається його повне розвантаження від маси матеріалу, що подрібнюється

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{\cos \psi (\omega_{\Pi}^2 r_0 - 2f\omega_{\Pi} v_{від})}{g} \right] + \psi, \quad (2.18)$$

де ψ - кут тертя маси матеріалу, що подрібнюється, по лопаті жолобу живильного пристрою, град.

З виразу (2.18) видно, що кут розвантаження лопаті залежить від кутової швидкості обертання пристрою живлення ω_{II} коефіцієнта тертя маси матеріалу, що подрібнюється по лопаті жолобу живильного пристрою f .

Для визначення відносної швидкості $v_{від}$ руху маси матеріалу, що подрібнюється в дробильній камері, складемо диференціальне рівняння руху частинок матеріалу по поверхні лопаті жолобу, яке з урахуванням всіх діючих на неї зовнішніх сил має вигляд

$$m\bar{a} = \bar{F}_u + \bar{F}_K + \bar{G} + \bar{F}_{TEP}. \quad (2.19)$$

Після перетворення рівняння (2.19) можна записати у вигляді

$$ma = m\omega_{II}^2 \cdot r_0 + mg \sin(\alpha + \omega_{II}t) - 2fm\omega_{II} \cdot v_{від} + fmg \cos(\alpha + \omega_{II}t). \quad (2.20)$$

Рівняння (2.20) складено з умов, при яких рух частинки матеріалу, що подрібнюється, по лопаті живильного пристрою буде відбуватися у вертикальній площині, тобто в цьому випадку має місце плоска система сил.

Перетворивши рівняння (2.20), отримаємо

$$\ddot{r} + 2f\omega_{II}\dot{r} - \omega_{II}^2 r = g(\sin(\alpha + \omega_{II}t) + f \cos(\alpha + \omega_{II}t)). \quad (2.21)$$

Рівняння (2.21) являє собою лінійне неоднорідне диференціальне рівняння 2-го порядку.

Загальне рішення даного рівняння має вигляд

$$r = r_1 + r_2, \quad (2.22)$$

де r_1 і r_2 - відповідно загальне і часткове рішення лінійного неоднорідного диференціального рівняння.

Загальне рішення диференціального рівняння має вигляд $r_1 = e^{kt}$.

Напишемо характеристичне рівняння виразу (2.21)

$$k^2 + 2f\omega_{\Pi}k - \omega_{\Pi}^2 = 0. \quad (2.23)$$

Знайдемо коріння рівняння (2.23)

$$k_{1,2} = -\omega_{\Pi} \left(f \pm \sqrt{f^2 + 1} \right). \quad (2.24)$$

Коріння характеристичного рівняння (2.20) дійсні і різні, звідси загальне рішення даного рівняння буде мати вигляд

$$r_1 = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t}. \quad (2.25)$$

Приватне рішення рівняння (2.21) знаходимо, представляючи праву його частину в вигляді

$$r_2 = A \sin(\alpha + \omega_{\Pi} t) + B \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t) + C. \quad (2.26)$$

Для знаходження приватного рішення диференціального рівняння (2.21) необхідно взяти першу і другу похідні вираження (2.26)

$$\left. \begin{aligned} \dot{r}_2 &= A\omega_{\Pi} \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t) - B\omega_{\Pi} \sin(\alpha + \omega_{\Pi} t), \\ \ddot{r}_2 &= -A\omega_{\Pi}^2 \sin(\alpha + \omega_{\Pi} t) - B\omega_{\Pi}^2 \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t). \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

Для визначення коефіцієнтів A , B і C підставимо значення $r_2, \dot{r}_2, \ddot{r}_2$ в вираз (2.21) і перетворивши його, отримаємо: $(-2A\omega_{\Pi}^2 - 2f\omega_{\Pi}^2 B) \cdot \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) + (2f\omega_{\Pi}^2 A - B\omega_{\Pi}^2) \cdot \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t) - \omega_{\Pi}^2 C = g \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) + fg \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t)$.

В отриманому рівнянні прирівняємо коефіцієнти лівої і правої частини, отримаємо

$$\begin{cases} -2A\omega_{\Pi}^2 - 2Bf\omega_{\Pi}^2 = g, \\ -2B\omega_{\Pi}^2 + 2Af\omega_{\Pi}^2 = fg, \\ \omega_{\Pi}^2 C = 0. \end{cases} \quad (2.28)$$

Вирішуючи цю систему відносно коефіцієнтів A , B і C , знаходимо

$$A = -\frac{g(f^2 - 1)}{2\omega_{\Pi}^2(f^2 + 1)}, B = -\frac{fg}{\omega_{\Pi}^2(1 + f^2)}, C = 0. \quad (2.29)$$

Підставляючи отримані значення коефіцієнтів у вираз (2.26), отримаємо

$$r_2 = -\frac{g(f^2 - 1)}{2\omega_{\Pi}^2(f^2 + 1)} \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t) - \frac{fg}{\omega_{\Pi}^2(1 + f^2)} \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t). \quad (2.30)$$

Загальне рішення лінійного неоднорідного диференціального рівняння матиме вигляд

$$r = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + A\omega_{\Pi} \cos(\alpha + \omega_{\Pi}t) - B\omega_{\Pi} \sin(\alpha + \omega_{\Pi}t). \quad (2.31)$$

Продиференціювавши рівняння (2.31), отримаємо формулу для обчислення відносної швидкості руху частинок матеріалу по лопаті пристрою живлення

$$v_{ВД} = \dot{r} = C_1 k_1 e^{k_1 t} + C_2 k_2 e^{k_2 t} + A \omega_{\Pi} \cos(\alpha + \omega_{\Pi} t) - B \omega_{\Pi} \sin(\alpha + \omega_{\Pi} t). \quad (2.32)$$

Значення коефіцієнтів C_1 і C_2 визначмо шляхом приватного рішення системи, що складається з рівнянь (2.31) і (2.32) і задовольняє початковим умовам при $t = 0$, $\dot{r} = v_{ВД} = 0$

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{\omega_{\Pi} (A \cos \alpha - B \sin \alpha) + k_2 (A \sin \alpha - B \cos \alpha) - r_0 k_2}{k_1 - k_2}, \\ C_2 &= \frac{k_1 (r_0 - A \sin \alpha - B \cos \alpha) + A \omega_{\Pi} \cos \alpha - B \omega_{\Pi} \sin \alpha}{k_1 - k_2}. \end{aligned} \right\} \quad (2.33)$$

2.5 Визначення траєкторії руху матеріалу, що подрібнюється, до молотків

На масу матеріалу, що подрібнюється m , що рухається після сходу з лопаті жолобу живильного пристрою, діють дві сили [43, 44]: сила тяжіння $G = mg$ і сила аеродинамічного опору середовища: $F_C = k_{\Pi} v_{\text{в.м.}}^2$, де k_{Π} - коефіцієнт парусності, для вугілля $k_{\Pi} = 2,45 - 8,1 \text{ м}^{-1}$.

Сила аеродинамічного опору середовища спрямована в бік, протилежний напрямку швидкості введення матеріалу, що подрібнюється в дробильну камеру $v_{\text{в.м.}}$.

Отже, рівнодіюча цих сил дорівнює: $mg - k_{\Pi} v_{\text{в.м.}}^2$. З іншого боку, величина діє на частинку, пропорційна прискоренню руху і дорівнює ma , тоді

$$ma = mg - k_{\Pi} v_{\text{в.м.}}^2. \quad (2.34)$$

Якщо шлях, рахуючи від початку відліку, дорівнює s , то швидкість $v = ds/dt$, і при прямолінійному русі $a = d^2s/dt^2$ рівність (2.34) набуде вигляду

$$m \frac{d^2s}{dt^2} = mg - k_{\Pi} \left(\frac{ds}{dt} \right)^2. \quad (2.35)$$

Перетворимо рівняння (2.35)

$$m \frac{dv}{ds} v = mg - k_{\Pi} v^2 = \frac{mvdv}{mg - k_{\Pi} v^2} = ds, \quad (2.36)$$

звідки

$$\int \frac{mvdv}{mg - k_{\Pi} v^2} = \int ds = \frac{m}{2k_{\Pi}} \ln |mg - k_{\Pi} v^2| + C = s. \quad (2.37)$$

Нехай в початковий момент часу $t=0$ частка знаходилася на початку шляху, тобто $s=0$, і почала падати з початковою швидкістю, яка дорівнює нулю, тобто $v=0$.

Підставивши в рівняння (2.36) $s=0$ і $v=0$, визначимо C

$$-\frac{m}{2k_{\Pi}} \ln mg + C = 0 \Rightarrow C = \frac{m}{2k_{\Pi}} \ln mg.$$

$$\text{Таким чином: } s = -\frac{m}{2k_{\Pi}} \ln |mg - k_{\Pi} v^2| + \frac{m}{2k_{\Pi}} \ln mg = \frac{m}{2k_{\Pi}} \ln \left| \frac{mg}{mg - k_{\Pi} v^2} \right|.$$

$$\text{Так як } ds/dt = v, \text{ то: } s = \frac{m}{2k_{\Pi}} \ln \left| \frac{mg}{mg - k_{\Pi} (ds/dt)^2} \right|.$$

Рівняння (2.37) являє собою диференціальне рівняння першого порядку,

вирішуємо його щодо ds/dt : $\ln \left| \frac{mg}{mg - k_{\Pi} (ds/dt)^2} \right| = \frac{2k_{\Pi} s}{m}$. Так як частка падає, то

відповідно до рівняння $m(d^2s/dt^2) > 0$ отже: $m(d^2s/dt^2) > 0$ й $\frac{mg}{mg - k_{II}(ds/dt)^2} > 0$,

$$\text{тому: } \frac{mg}{mg - k_{II}(ds/dt)^2} = e^{\frac{2k_{II}s}{m}}, \frac{mg - k_{II}(ds/dt)^2}{mg} = e^{-\frac{2k_{II}s}{m}}, \frac{ds}{dt} = \pm \sqrt{\frac{mg}{k_{II}} \left(1 - e^{-\frac{2k_{II}s}{m}}\right)}.$$

Так як s зростаюча функція t , то $ds/dt > 0$, тому перед коренем беремо знак ПЛЮС

$$\frac{ds}{dt} = \sqrt{\frac{mg}{k_{II}} \left(1 - e^{-\frac{2k_{II}s}{m}}\right)}. \quad (2.38)$$

Розділивши змінні, отримаємо

$$\frac{ds}{\sqrt{1 - e^{-\frac{2k_{II}s}{m}}}} = \sqrt{\frac{mg}{k_{II}}} dt, \quad (2.39)$$

звідси

$$\int \frac{ds}{\sqrt{1 - e^{-\frac{2k_{II}s}{m}}}} = \sqrt{\frac{mg}{k_{II}}} t + C. \quad (2.40)$$

Інтеграл в лівій частині рівності (2.40) беремо підставленням

$$z = e^{\frac{k_{II}s}{m}},$$

$$dz = \frac{k_{II}}{m} e^{\frac{k_{II}s}{m}} ds. \quad (2.41)$$

і тоді

$$ds = \frac{m}{k_{\Pi}} e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}},$$

$$ds = \frac{m}{k_{\Pi}} \cdot \frac{dz}{z}. \quad (2.42)$$

Таким чином

$$\int \frac{ds}{\sqrt{1 - e^{-\frac{k_{\Pi}s}{m}}}} = \frac{m}{k_{\Pi}} \int \frac{dz}{\sqrt{1 - \frac{1}{z^2}}} = \frac{m}{k_{\Pi}} \int \frac{dz}{\sqrt{z^2 - 1}} = \frac{m}{k_{\Pi}} \ln\left(z + \sqrt{z^2 - 1}\right) =$$

$$= \frac{m}{k_{\Pi}} \left(e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_{\Pi}s}{m}} - 1} \right) = \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} t + C. \quad (2.43)$$

Підставляючи в отримане рівність початкові умови $t=0$ і $s=0$, отримаємо, що $C=0$.

Отже, рішення рівняння (2.40)

$$\frac{m}{k_{\Pi}} \ln\left(e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_{\Pi}s}{m}} - 1} \right) = \sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} t, \quad (2.44)$$

звідки

$$e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_{\Pi}s}{m}} - 1} = e^{\sqrt{\frac{k_{\Pi}g}{m}} t}, \quad (2.45)$$

$$\frac{1}{e^{\frac{k_{\Pi}s}{m}} + \sqrt{e^{\frac{2k_{\Pi}s}{m}} - 1}} = e^{-\sqrt{\frac{mg}{k_{\Pi}}} t}. \quad (2.46)$$

Помноживши чисельник і знаменник лівої частини рівності (2.46) на вираз

$$e^{\frac{k_{II}s}{m}} - \sqrt{e^{\frac{2k_{II}s}{m}} - 1}, \quad (2.47)$$

Отримаємо

$$e^{\frac{k_{II}s}{m}} - \sqrt{e^{\frac{2k_{II}s}{m}} - 1} = e^{-\sqrt{\frac{k_{II}g}{m}}t}. \quad (2.48)$$

Звідки, з огляду на рівність (2.50), отримаємо

$$e^{\frac{k_{II}s}{m}} = \frac{e^{\sqrt{\frac{k_{II}g}{m}}t} + e^{-\sqrt{\frac{k_{II}g}{m}}t}}{2}. \quad (2.49)$$

Остаточно закон руху частинки до робочої поверхні молотка матиме вигляд

$$s = \frac{m}{k_{II}} \ln \frac{e^{\sqrt{\frac{2k_{II}g}{m}}t} + e^{-\sqrt{\frac{k_{II}g}{m}}t}}{2}. \quad (2.50)$$

Таким чином, проведений аналіз роботи пристрою живлення у вигляді барабана з жолобами, протилежні сторони якого повернені один відносно одного, дозволяє встановити закон руху маси матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів молоткової дробарки – вираз (2.50).

2.6 Режим роботи живильного пристрою, який забезпечує мінімальні витрати енергії

Потрібна потужність, необхідна для приводу живильного пристрою визначається з виразу

$$P_{\text{пот}} = M_{\text{кр.п}} \omega_{\text{п}} f_{\text{ц}} + P_{\text{ххп}}, \quad (2.51)$$

де $M_{\text{кр.п}}$ - крутний момент на валу живильного пристрою, Н·м;

$\omega_{\text{п}}$ - кутова швидкість обертання пристрою живлення, хв⁻¹;

$P_{\text{ххп}}$ - потужність на холостому ході живильного пристрою, Вт;

$f_{\text{ц}}$ - коефіцієнт опору в цапфах: для підшипників кочення ($f_{\text{ц}} = 0,05$).

Крутний момент на валу живильного пристрою можна визначити за формулою

$$M_{\text{кр.п}} = Gr_0 (\sin(\alpha + \omega_{\text{п}}t) - \cos(\alpha + \omega_{\text{п}}t)), \quad (2.52)$$

де G - сила тяжіння, Н;

r_0 - відстань від осі обертання пристрою живлення до частки матеріалу, що подрібнюється, м.

Підставивши вираз (2.52) в (2.51), отримаємо формулу для обчислення потужності, що витрачається на процес подачі матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів молоткової дробарки

$$P_{\text{пот}} = Gr_0 (\sin(\alpha + \omega_{\text{п}}t) - \cos(\alpha + \omega_{\text{п}}t)) \omega_{\text{п}} f_{\text{ц}} + P_{\text{ххп}}. \quad (2.53)$$

2.7 Продуктивність дробарки

Подрібнюємий матеріал подається в завантажувальний бункер, звідки за допомогою обертання живлячого пристрою захоплюється і подається в дробильну камеру, де частина матеріалу руйнується ударним впливом молотків і захоплюється в простір між решето і молотками. При обертанні вала ротора дробарки виникає відцентрова сила, яка притискає подрібнюємий матеріал до поверхні решета, крім того, на подрібнюється матеріал діє сила з боку молотків, під дією якої маса матеріалу, що подрібнюється обертається з певною швидкістю. Під дією цих сил відбувається його руйнування об поверхню решета і робочу поверхню молотків.

Роль кожного з робочих органів в подрібненні матеріалів розкрита в дослідженнях багатьох вчених та роботах. Роботи яких стали основою для розробки нових робочих органів для подрібнення і вдосконалення на цій базі конструкції молоткової дробарки в цілому.

Для визначення продуктивності молоткової дробарки можна використовувати формулу

$$Q = 0,06 k_{KP} k_{\Phi M} k_e \rho D_p^2 L_p n_p, \quad (2.54)$$

де k_{KP} - коефіцієнт кратності удару, $k_{\Phi M} = 2.5 - 3$;

$k_{\Phi M}$ - коефіцієнт, що залежить від форми робочої поверхні молотків, $k_{\Phi M} = (1,2 - 1,5)$;

k_e - емпіричний коефіцієнт, що залежить від типу і розмірів осередків решета, $k_e = (1,3 - 1,7) \cdot 10^{-4}$;

ρ - щільність матеріалу, що подрібнюється, кг/м^3 ;

D_p - діаметр ротора по колу решт молотків в робочому положенні, м;

L_p - довжина ротора, м;

n_p - частота обертання ротора, хв^{-1} .

Графік теоретичної залежності продуктивності молоткової дробарки від діаметра ротора по колу молотків представлений на рисунку (Рисунок 2.7).

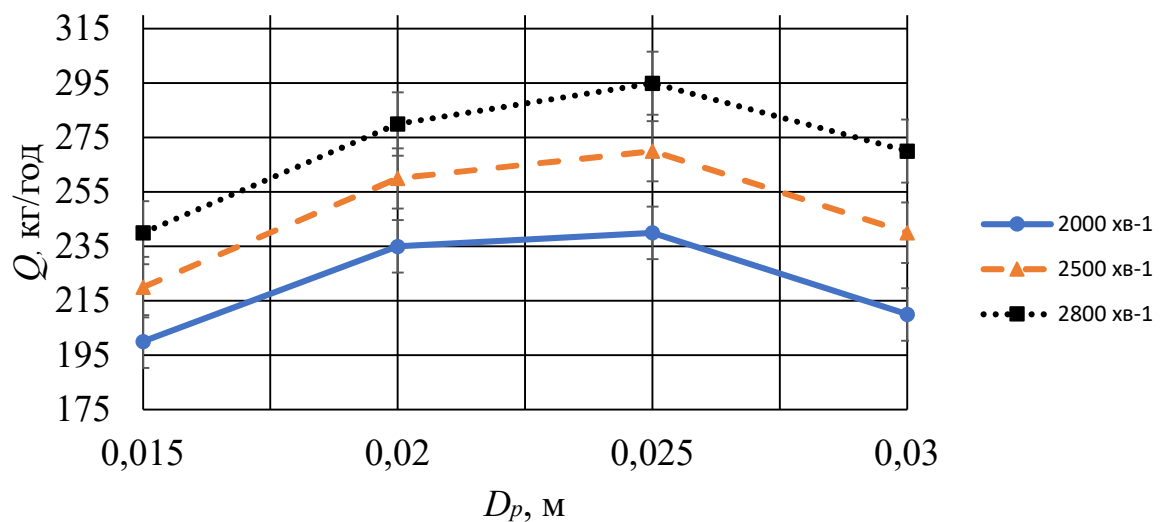


Рисунок 2.7 – Теоретичною залежності продуктивності Q молоткової дробарки від діаметра ротора D_p

Як видно з рисунка (Рисунок 2.7), що продуктивність молоткової дробарки 300 кг/год досягається при діаметрі ротора 250 мм і частоті обертання валу ротора дробарки 2800 хв^{-1} . Подальше збільшення діаметра ротора тягне за собою зменшення продуктивності за рахунок збільшення шляху переміщення частинки в дробильній камері.

2.8 Розрахунок потужності для подрібнення в молотковій дробарці

Згідно робочого процесу всередині дробильної камери молоткової дробарки, енергія витрачається на подолання шкідливих опорів, а також на процес подрібнення і на переміщення маси матеріалу в дробильній камері, тобто повна потужність, що витрачається на подрібнення, визначається за формулою

$$P = P_{\text{пог}} + P_{\text{II}} + P_{\text{III}} + P_{\text{XX}}, \quad (2.55)$$

де $P_{\text{пог}}$ - потужність, що витрачається на процес подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки, кВт;

P_{II} - потужність, що витрачається безпосередньо на подрібнення матеріалу, кВт;

P_{III} - потужність, що витрачається на циркуляцію повітряно-продуктового шару, кВт;

P_{XX} - потужність, що витрачається на холостий хід ротора з молотками, кВт.

Витрата потужності на процес подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки визначається за формулою (2.53).

Витрата потужності на подрібнення визначається за формулою

$$P_{\text{II}} = QA_{\text{II}}, \quad (2.56)$$

де A_{II} - робота, що витрачається на подрібнення 1 кг матеріалу, Дж/кг.

Сума потужностей на циркуляцію P_{III} і холостий хід P_{XX} вибирається по дослідними даними в розмірі 15 – 20 % від потужності на подрібнення P_{II}

$$P_{ш} + P_{хх} = (0,15 - 0,2)P_{п}. \quad (2.57)$$

Енергоємність процесу подрібнення в молотковій дробарці з урахуванням ступеня подрібнення і якості готового продукту розраховується за такою формулою

$$E = \frac{PK_k}{Q\lambda}, \quad (2.58)$$

де P - потужність, що витрачається на робочий процес молоткової дробарки з урахуванням витрат енергії на весь технологічний процес, кВт;

Q - продуктивність молоткової дробарки, кг/год;

λ - ступінь подрібнення;

K_k - коефіцієнт якості готового продукту, що характеризує відношення недоподрідненої і переподрібної маси матеріалу до загальної маси готового продукту.

Для підтвердження теоретичних досліджень і виявлення оптимальних конструктивно-режимних і технологічних параметрів молоткової дробарки, що впливають на підвищення ефективності процесу подрібнення, необхідно провести експериментальні дослідження.

2.9 Висновки по розділу

На підставі оглядів та досліджень в попередніх розділах, можна надати наступні висновки:

- а) Обґрунтовано конструктивно-технологічна схема молотковій дробарки, що включає в себе пристрій живлення барабанного типу з жолобами, з протилежних сторін яких повернені відносно один одного.
- б) Отримано вирази для визначення продуктивності пропонованої конструкції пристрою живлення, для визначення кута повороту лопаті жолоби, при якому відбувається його повне розвантаження від маси матеріалу, що подрібнюється; для визначення відносної швидкості руху маси матеріалу, що подрібнюється, по лопаті пристрою живлення; закон руху маси матеріалу, що подрібнюється до робочої поверхні молотка.
- в) Отримано вирази для визначення кінетичної енергії удару пропонованої конструкцією молотка.
- г) Були отримані вирази для визначення продуктивність молотковій дробарки і енергоємності процесу подрібнення з урахуванням ступеня подрібнення і якості готового продукту.

3 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

3.1 Плани до експериментальних досліджень

З метою перевірки теоретичних даних і визначення раціональних режимів роботи молоткової дробарки необхідна програма експериментальних досліджень:

- а) розробка, обґрунтування параметрів моделі молоткової дробарки з живильним пристроєм барабанного типу з жолобами, з протилежних сторін яких повернені відносно один одного;
- б) визначення оптимального розташування пристрою живлення для найбільш ефективного процесу подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки;
- в) отримання залежностей впливу окружної швидкості молотків на якісні та енергетичні показники роботи молоткової дробарки;
- г) отримання залежностей впливу подачі на якісні і енергетичні показники роботи молоткової дробарки;
- д) проведення оцінки ефективності основних результатів досліджень.

3.2 Оцінка точності вимірювань

Зниження величини граничної помилки сприяє проведенню тарування і перевірки вимірювальних приладів після кожної групи дослідів [21, 45]. Гранична відносна помилка величини питомої витрати енергії становить

$$\frac{\Delta n(A_{\text{вд}})}{A_{\text{вд}}} = \pm \left[\frac{\Delta n(A_{\text{ЕФ}})}{A_{\text{ЕФ}}} + \frac{\Delta n(Q)}{Q} \right] = \pm(0,5 + 1,55) = \pm 2,05\% \quad (3.1)$$

При визначенні продуктивності величину граничної щодо помилки визначають за формулою

$$\frac{\Delta n(Q)}{Q} = \pm \left[\frac{\Delta n(q)}{q} + \frac{\Delta n(t)}{t} \right], \quad (3.2)$$

де q - маса проби за час досвіду, кг;

t - час проведення досліду, с;

Δn - відхилення вимірюваної величини.

Величину граничної помилки у відсотках до верхньої межі вимірювань при вимірі часу секундоміром і зважуванні проби на лабораторних вагах відповідно за їх технічними характеристиками

$$\frac{\Delta n(q)}{q} = \pm 0,1\%, \quad \frac{\Delta n(t)}{t} = \pm 0,55\%, \quad (3.3)$$

тоді

$$\frac{\Delta n(Q)}{Q} = \pm (0,1 + 0,55) = \pm 0,65\%. \quad (3.4)$$

При зважуванні на лабораторних вагах залишку на ситах

$$\frac{\Delta n(P_i)}{P_i} = 0,15\%. \quad (3.5)$$

Граничну величину статистичної обробки вимірювань визначається способом теорії помилок і методів математичної статистики [45, 46]. Найбільш ймовірне значення вимірювань величини або середньоарифметичне значення визначається за формулою

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}, \quad (3.6)$$

де y_i - величина значення i -го вимірювання;

n - кількість вимірювань.

Точність середнього арифметичного значення неодноразово вимірюваної величини взяте значення середньоквадратичного відхилення, що визначається за формулою

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}. \quad (3.7)$$

Коефіцієнт варіації визначається за формулою

$$V = \sigma / \bar{y}. \quad (3.8)$$

Помилку середнього значення знаходиться за формулою

$$m = \pm (\sigma / \sqrt{n}). \quad (3.9)$$

При роботі обладнання їх точність оцінюється по максимально можливої статистичної помилці. У загальному випадку при проведенні експериментальних досліджень використовуються методики [46, 47].

3.3 Лабораторна установка

Для підтвердження і перевірки теоретичних залежностей, а також подальшого вивчення процесу подрібнення необхідна лабораторна установка [48]. Загальний вигляд лабораторної установки представлений на рисунку (Рисунок 3.1).

При використанні лабораторної установки враховувалися наступні вимоги:

- а) можливість регулювати конструктивно-режимні та технологічні параметри роботи в широких межах варіювання;
- б) можливість швидкої збірки і розбирання основних вузлів молоткової дробарки;
- в) можливість зняття вхідних і вихідних параметрів роботи за допомогою простих і надійних пристроїв.

Молоткова дробарка розміщена на рамі 1 і складається з завантажувального бункера 2, корпусу 3 з дробильною камерою 4, всередині якої встановлені ротор 5 з шарнірно-закріпленими на його осях 6 молотками 7, решето 8 і вивантажувального вікна 9. У горловині завантажувального бункера встановлено пристрій живлення (Рисунок 3.2), що має індивідуальний привід від електродвигуна з редуктором 10. Подача матеріалу здійснюється проти напрямку обертання ротора 5, а привід вала молотковій дробарки здійснюється від електродвигуна 11.

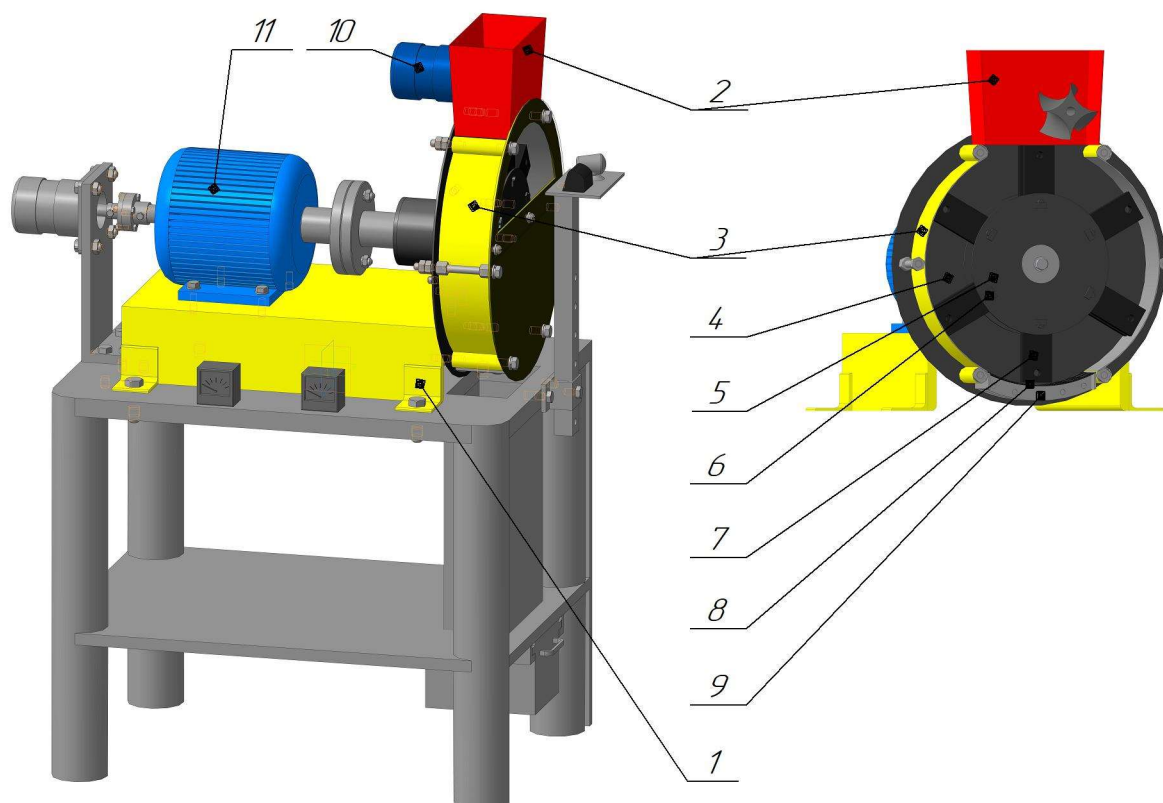


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд лабораторної установки

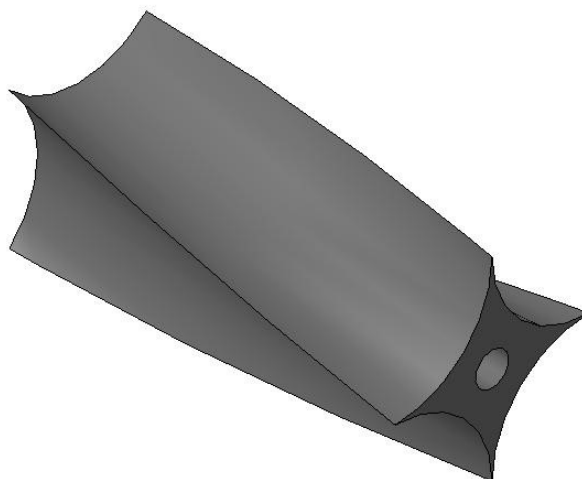


Рисунок 3.2 – Пристрій живлення (шнек)

Робочий процес подрібнення протікає в такий спосіб: у завантажувальний бункер 2 засипається матеріал що подрібнюється, звідки за допомогою пристрою живлення проти напрямку обертання валу ротора 5 подається в дробильну

камеру 4. У дробильній камері 4 подрібнюється матеріал піддається ударної дії молотків 7 і отримує часткове руйнування. Подрібнений продукт виводиться з дробильної камери через вивантажний отвір 9. Загальний вигляд ротора в зборі представлений на рисунку (Рисунок 3.3).

В ході проведення експериментів – комплект змінних решіт з отворами різного діаметру, які встановлюються для своєчасного виведення подрібненого матеріалу з заданим гранулометричним складом з дробильної камери дробарки.

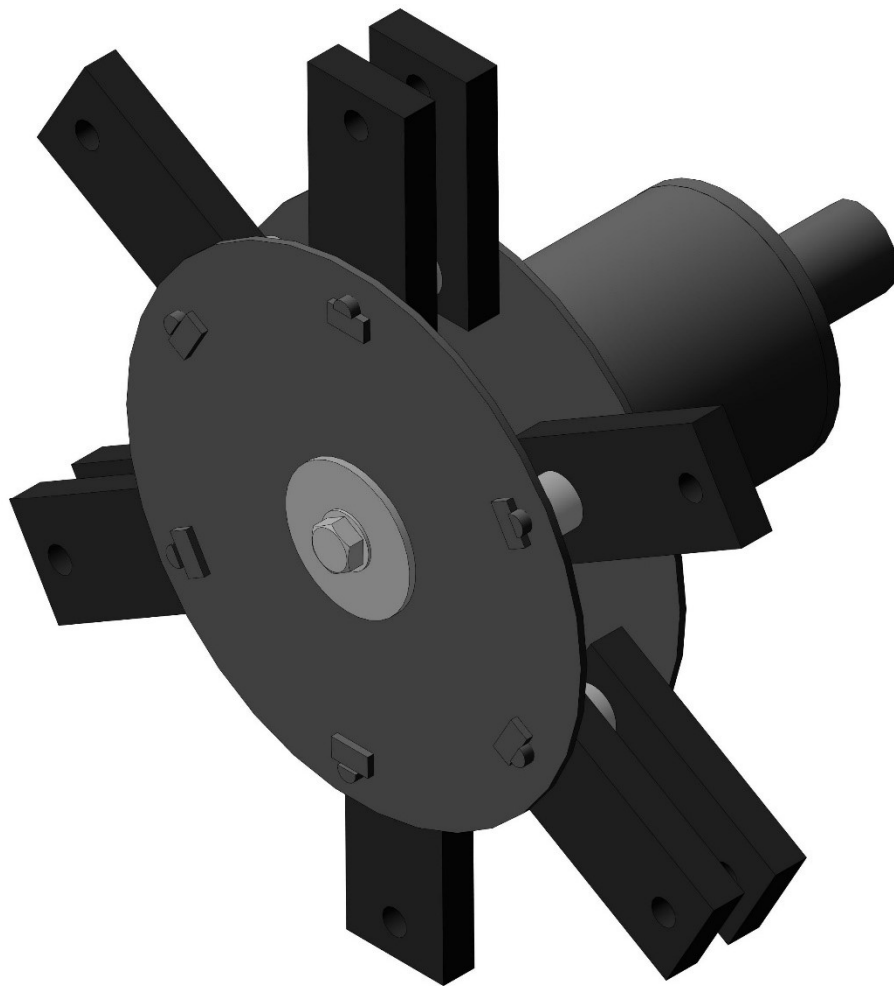


Рисунок 3.3 – Загальний вигляд ротора в зборі

Основні технічні характеристики експериментальної молоткової дробарки представлені в таблиці (Таблиця 3.1).

Таким чином, конструкція лабораторної установки дозволяє провести експериментальні дослідження з визначення оптимальних конструктивнорежимних і технологічних параметрів роботи молоткової дробарки, що дозволить підвищити ефективність процесу подрібнення.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики лабораторної установки

№	Показники	Значення
1	Діаметр живильного пристрою	70 мм
2	Довжина живильного пристрою	90 мм
3	Частота обертання валу живильного пристрою	60-90 хв ⁻¹
4	Подача матеріалу, що подрібнюється	250 - 300 хв ⁻¹
5	Діаметр ротора по кінцях молотків	256 мм
6	Ширина ротора	60 мм
7	Частота обертання ротора	1600 - 2980 хв ⁻¹
8	Кількість молотків	9 шт
9	Товщина молотків	10 мм
10	Окружна швидкість молотків	30-45 м/с
11	Зазор між поверхню решета і кінцями молотків	5-10 мм
12	Потужність електродвигуна живильного пристрою	1 кВт
13	Потужність електродвигуна дробарки	3 кВт

3.4 Матеріали і прилади для проведення експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень необхідні наступний вид матеріалу, що подрібнюється: вугілля. Основні фізико-механічні властивості є типовими, тому їх дані були взяті з літературних джерел.

Проби готового продукту відбирали при сталому режимі роботи молоткової дробарки. Для визначення моменту встановленого режиму роботи застосовується мультиметр, а час досвіду заміряли за допомогою секундоміра. Частоту обертання вала ротора живильного пристрою і ротора дробарки визначається із застосуванням тахометра годинного типу з точністю до $0,1 \text{ хв}^{-1}$. Для зважування відібраних проб готового продукту застосовували електронні ваги з точністю до $0,01 \text{ кг}$. Витрати енергії на процес подрібнення вугілля визначалися із застосуванням електричного лічильника СО-5У з класом точності 2,5, призначеного для обліку електричної енергії з номінальною частотою струму 50Гц з похибкою 2,5%, що цілком прийнятною в таких експериментах.

3.5 Визначення рівномірності і залежності величини подачі матеріалу від частоти обертання валу живильного пристрою

Визначення величини подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки за допомогою пристрою живлення з прямими лопатями і експериментального (Рисунок 3.3) проводяться наступним чином:

- а) попередньо з дробильної камери молотковій дробарки знімаються решето і ротор, для того щоб надходить маса безперешкодно потрапляла в приймальну ємність;
- б) вихідний матеріал завантажується в бункер і рівномірно розподілявся по всьому його об'єму.

Вологість матеріалу, що подрібнюється, в кожному досліді повинна бути в межах 10 - 15%.

Для визначення залежності величини подачі матеріалу, що подрібнюється від частоти обертання валу живильного пристрою змінною величиною в дослідах частота обертання валу живильного пристрою, повинна змінюватися за допомогою регулятора в межах від 50 до 80 хв^{-1} с інтервалом через кожні 10хв^{-1} .

Експериментальні дослідження проводяться при сталому режимі роботи в наступній послідовності:

- а) при включенні електродвигуна, приводить в рух пристрій живлення;
- б) маса матеріалу подавалася в ємність;
- в) час збору матеріалу контролюється секундоміром;
- г) маса відібраного матеріалу замірюється на вагах;
- д) тривалість кожного досвіду – 1 хв;
- е) для виключення промахів прийнята триразова повторність дослідів.

Величина секундної продуктивності визначалася за формулою

$$Q_{\Pi} = 3600q/t, \quad (3.10)$$

де q - маса матеріалу, що подрібнюється, поданого за час досвіду, кг;

t - тривалість досвіду, с.

За значеннями Q визначається величина подачі, за різницею між Q_1, Q_2, \dots, Q_n визначалася рівномірність подачі. Чим менше різниця значень між величинами подачі в кожному досвіді, тим вище рівномірність. За результатами експериментальних досліджень будуються графіки залежності $Q_{\Pi} = f(n_{\Pi})$.

3.6 Визначення продуктивності молоткової дробарки

Продуктивність є одним з основних показників роботи молоткової дробарки.

Продуктивність досліджуваної молоткової дробарки визначається в момент усталеного режиму роботи. Сталим режимом вважається такий, при якому витрата енергії на подрібнення постійний. Момент настання сталого режиму роботи визначається за показниками цифрового мультиметра, фіксуючого величину потужності, що витрачається на робочий процес молоткової дробарки. Як тільки показання мультиметра беруть певне стаке значення, проводиться відбір проб для розрахунку продуктивності молоткової дробарки, що працює в заданому режимі. Величину годинної продуктивності встановлюють методом взяття проби за певний період роботи. Моменти відбору проби фіксувалися секундоміром. Відібрану пробу зважували на електронних вагах марки. Всі досліди повторювалися трикратно, кожен результат розрахунку продуктивності молоткової дробарки є середньоарифметичне з суми трьох проб, узятих під час дослідів.

Секундну продуктивність визначається за формулою (3.10).

Наведена методика визначення продуктивності молоткової дробарки забезпечує більшу точність і достатність отриманих результатів [15].

3.7 Визначення окружної швидкості молотків

Частоту обертання валу ротора дробарки змінюється за допомогою регулятора. Частоту обертання вала ротора дробарки визначали при сталому режимі роботи за допомогою тахометра годинного типу.

Окружна швидкість ротора з молотками визначалася з вираження

$$v_M = \frac{\pi n_p R_M}{30}, \quad (3.11)$$

де n - частота обертання валу ротора дробарки, хв^{-1} ;

R_M - радіус ротора по кінцях молотків, м.

3.8 Якісні показники готового продукту та енергоємність процесу подрібнення

Абсолютні розміри і крупність частинок подрібненого матеріалу використовуються при оцінці якості готового продукту і енергоємності процесу подрібнення.

Дослідження фракційного складу готового продукту проводиться після подрібнення. Для визначення фракційного складу готового продукту використовуються сита. Відібрана проба подрібненого матеріалу масою 1 кг просівають протягом через набір сит з діаметрами отворів 3, 2, 1 і 0,2 мм.

Для підвищення точності одержуваних результатів проби подрібненого матеріалу беруться з триразові повторності.

В якості критерію оцінки ступеня подрібнення можна застосовувати показник M , званий модулем крупності, який можна визначити за формулою: $M = (0,5P_0 + 1,5P_1 + 2,5P_2 + 3,5P_3...)/100$; де P_0 - прохід сита з отвором \varnothing 0,25 мм, %; $P_1, P_2, P_3...$ - залишок на ситах з отворами \varnothing 1, 2, 3 мм і так надалі відповідно, %.

Основним показником процесу подрібнення вугілля й інших подібних матеріалів в молотковій дробарці є енергоємність процесу подрібнення до заданого гранулометричного складу.

Енергоємність процесу подрібнення з урахуванням ступеня подрібнення і якості подрібнених частинок, яка визначається за формулою (2.58).

Енергоємність процесу подрібнення показує, яка кількість енергії необхідно підвести до молоткової дробарці для забезпечення заданої продуктивності.

3.9 Методика планування експерименту

Вивчення літературних даних [47], результатів теоретичних досліджень показує, що модель подрібнення матеріалів є функцією великого числа факторів. Однак кількісної взаємозв'язку між цими факторами в процесі подрібнення не встановлено. Для оптимізації процесу подрібнення необхідна побудова його математичної моделі.

Для обґрунтування конструктивно-режимних і технологічних параметрів робочого процесу молоткової дробарки був обраний двох факторний план. При проведенні експерименту в одному досвіді фіксувалися 2 фактори:

- а) подача матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молотковій дробарки Q_{II} ;
- б) окружна швидкість молотків v_M .

Математична модель об'єкта дослідження другого порядку має вигляд [47]

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2, \quad (3.12)$$

де b_0 - вільний член;

b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти регресії;

X_i, X_j - незалежні змінні (фактори).

Формально метою проведення експериментальних досліджень є визначення чисельних значень коефіцієнтів регресії. Однорідність ряду дисперсії перевіряємо за критерієм:

$$G = S_{u.\max}^2 / \sum_{u=1}^N S_u^2. \quad (3.13)$$

де $S_{u.\max}^2 / \sum_{u=1}^N S_u^2$ - максимальна в ряду дисперсія;

$\sum_{u=1}^N S_u^2$ - сума дисперсії всіх дослідів.

За отриманими даними будується математична модель другого порядку. Знаходимо коефіцієнти регресії математичної моделі (3.12):

$$\left\{ \begin{array}{l} b_0 = C_1 \sum_{u=1}^N y_u - C_2 \sum_{i=1}^K \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u, \\ b_i = C_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u, \\ b_{ij} = C_4 \sum_{u=1}^N (x_i x_j) y_u, \\ b_{ii} = C_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + C_6 \sum_{i=1}^K \sum_{u=1}^N x_{ij}^2 y_u - C_2 \sum_{u=1}^N y_u. \end{array} \right. \quad (3.14)$$

де C_i - допоміжні коефіцієнти.

Після розрахунку коефіцієнтів регресії перевіряються їх значимість за критерієм Стюдента [45, 46, 47] за допомогою довірчих інтервалів оцінок коефіцієнтів, які визначалися за формулою

$$\Delta b_i = t_{\alpha f_l} S_{bi}, \quad (3.15)$$

де t - критерій Стюдента, береться з таблиць в залежності від рівня значущості α і числа ступенів свободи f_l при визначенні дисперсії дослідів S_y^2 ;

S_{bi} - середньоквадратична помилка у визначенні коефіцієнта регресії.

Коефіцієнт вважається статистично значимим, коли його абсолютна величина більше довірчого інтервалу або дорівнює йому, тобто $|b_i| \geq \Delta b_i$.

Зміст останньої нерівності полягає в тому, що абсолютна величина коефіцієнта повинна бути в t разів більше, ніж помилка його визначення [47].

Перевірка гіпотези адекватності отриманої математичної моделі другого порядку перевірялася за допомогою критерію Фішера F за формулою

$$F = S_{неад}^2 / S_y^2, \quad (3.16)$$

де $S_{неад}^2$ - дисперсія неадекватності математичної моделі;

S_y^2 - дисперсія помилки досвіду в матриці плану.

У свою чергу дисперсія неадекватності математичної моделі розраховується за формулою

$$S_{неад}^2 = \frac{m \sum_{u=1}^N (y_u - \bar{y}_u)^2}{N - n - 1}, \quad (3.17)$$

де \bar{y}_u - середнє значення критерію оптимізації в u -м досвіді при m повторах;

n - число факторів;

y_u - значення критерію оптимізації, обчислене по рівняння регресії.

Дисперсія, яка характеризує похибку дослідів, визначається за формулою

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_u)^2}{N(m-1)}, \quad (3.18)$$

де y_{iu} - значення i -го критерію оптимізації в паралельних дослідів.

Для прийняття гіпотези про адекватність необхідно, щоб обчислене значення F -критерію (3.16) не перевищувало табличне для обраного рівня значущості.

3.10 Вплив частоти обертання пристрою живлення на рівномірність подачі матеріалу до ротору

Для забезпечення нормального технологічного процесу подрібнення, потік матеріалу, що виходить з пристрою живлення повинен бути необхідної рівномірністю. Рівномірність потоку матеріалу, що подрібнюється забезпечує зниження енергоємності процесу подрібнення, збільшення продуктивності, а також знижуються динамічні навантаження на ротор з молотками [42].

З огляду на фізико-механічні властивості матеріалу, що подрібнюється, поставлена серія дослідів по виявленню залежності рівномірності Δq подачі матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів молоткової дробарки від частоти обертання n вала пристрою живлення (Рисунок 3.4).

Аналіз залежності нерівномірності подачі матеріалу, що подрібнюється, Δq від частоти обертання вала живильного пристрою показує, що конструкція пристрою живлення забезпечує рівномірність потоку матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів молоткової дробарки при менших частотах обертання в порівнянні з живильником – з жолобами прямої форми.

Розглянемо вплив способу розташування пристрою живлення на ефективність подачі матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів молоткової дробарки, так якісне подрібнення нерозривно пов'язане з процесом подачі до робочих органів дробарки. Для проведення експериментальних досліджень використовується лабораторна установка з поздовжнім і поперечним

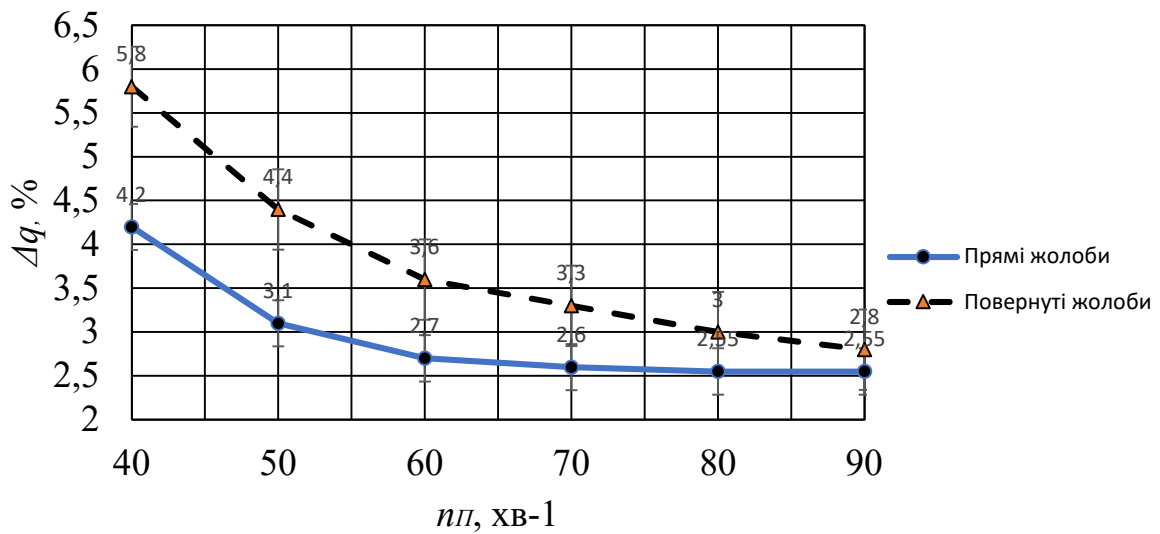


Рисунок 3.4 – Залежність рівномірності подачі матеріалу, що подрібнюється Δq від частоти обертання валу живильного пристрою n

розташуванням пристрою живлення щодо вала молоткового ротора дробарки [42].

Вплив способу розташування пристрою живлення щодо вала ротора представлені на рисунках (Рисунки 3.5, 3.6). Як видно з представлених залежностей, поздовжнє розташування пристрою живлення забезпечує збільшення величини подачі матеріалу, що подрібнюється, на 8 – 12 %, а також зниження енергоємності процесу подачі на 7 – 10 %, в порівнянні з поперечним, при частоті обертання валу живильного пристрою 70 хв^{-1} .

Так само з залежностей (Рисунки 3.5, 3.6) видно, що зі збільшенням частоти обертання вала пристрою живлення більш 70 хв^{-1} відбувається зниження величини подачі матеріалу, що подрібнюється, за рахунок зменшення залипанання жолобів живильного пристрою, що тягне за собою збільшення енергоємності процесу подачі.

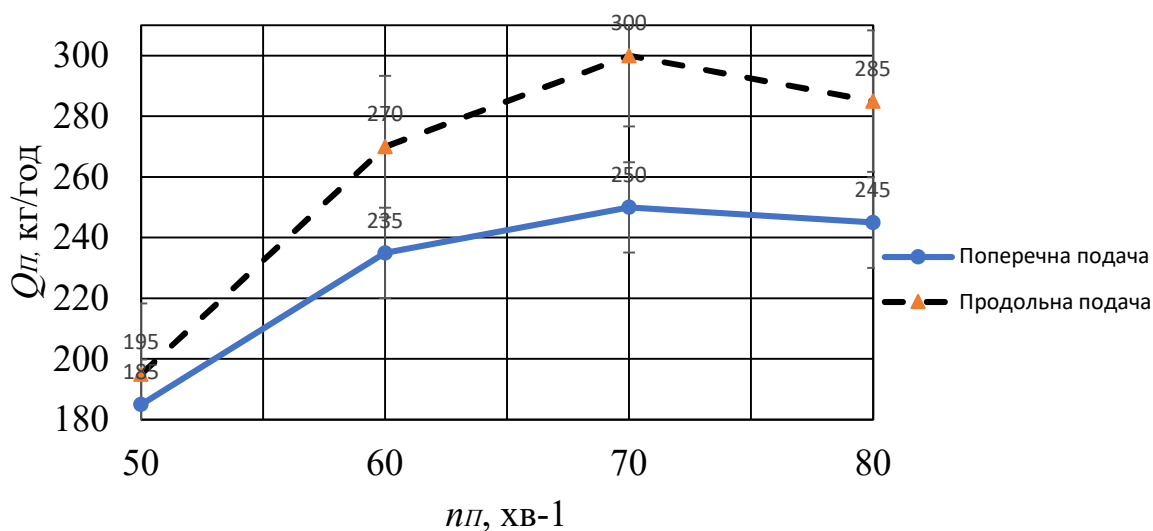


Рисунок 3.5 – Залежність величини подачі Q матеріалу, що подрібнюється від частоти обертання валу живильного пристрою n при $D=0,07$ м

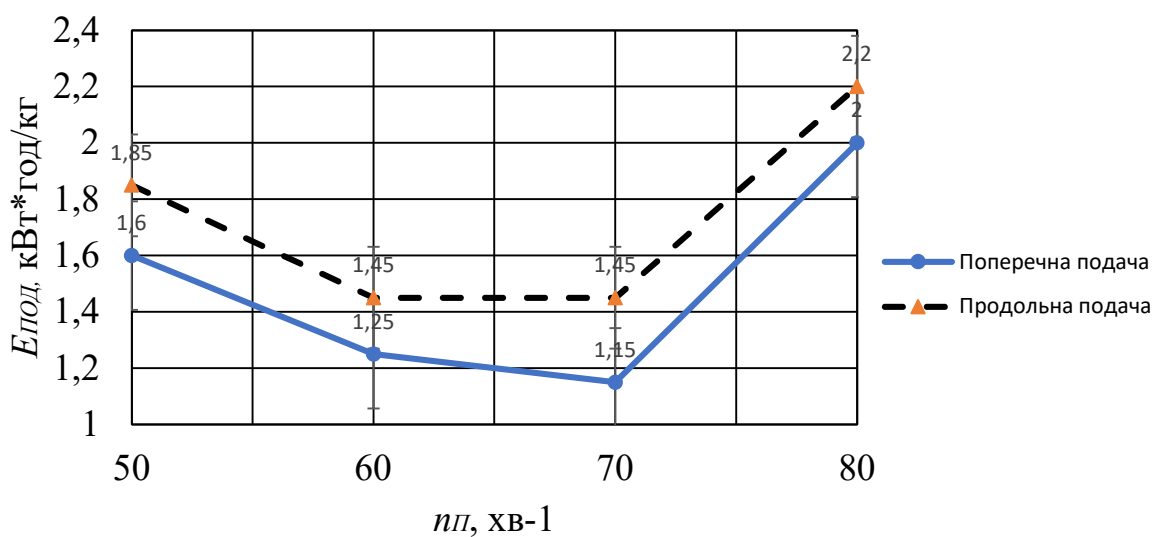


Рисунок 3.6 – Залежність енергоємності процесу подачі E від частоти обертання валу живильного пристрою n при $D=0,07$ м

3.11 Вплив величини подачі і енергоємності процесу від конструктивних і режимних параметрів пристрою живлення

Експериментальні дослідження на лабораторній установці, представленої в на малюнку (Рисунок 3.1). Величина подачі живильного пристрою і енергоємність процесу, як було виявлено при аналітичних дослідженнях, залежить від його геометричних розмірів, частоти обертання і фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється.

З метою визначення впливу величини подачі матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів молоткової дробарки проводяться дослідження з різними конструктивними і режимними параметрами роботи пристрою живлення [42]. Діаметр D_{II} барабана і частота обертання n_{II} вала живильного пристрою мають істотне значення для визначення величини подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки.

За результатами обробки експериментальних даних було побудовано рівняння регресії (3.19), адекватність якого перевірялася за критерієм Фішера, також обчислювалися коефіцієнти кореляції

$$Q_{II} = 201,449 - 3,037n_{II} - 5510,479D_{II} - 0,0001n_{II}^2 + 83,353n_{II}D_{II} + 36759,391D_{II}^2. \quad (3.19)$$

Графічно залежність величини подачі матеріалу, що подрібнюється від частоти обертання n_{II} і діаметра D_{II} барабана пристрою живлення представлена на рисунку (Рисунок 3.7). Як видно з рисунку (Рисунок 3.7) діаметр D_{II} барабана пристрою живлення веде до збільшення величини подачі. Це пояснюється зростанням відцентрових сил, що збільшують швидкість сходу матеріалу з лопаті жолобу живлячого пристрою. Теж саме відбувається і з частотою обертання n_{II} вала живильного пристрою в процесі подачі. При цьому, зі збільшенням частоти обертання валу живильного пристрою, збільшується і подача.

У досліджуваному діапазоні конструктивних і режимних параметрів пристрою живлення були побудовані рівняння регресії для питомої енергоємності процесу подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молоткової дробарки (3.20) і графічна залежність (Рисунок 3.7).

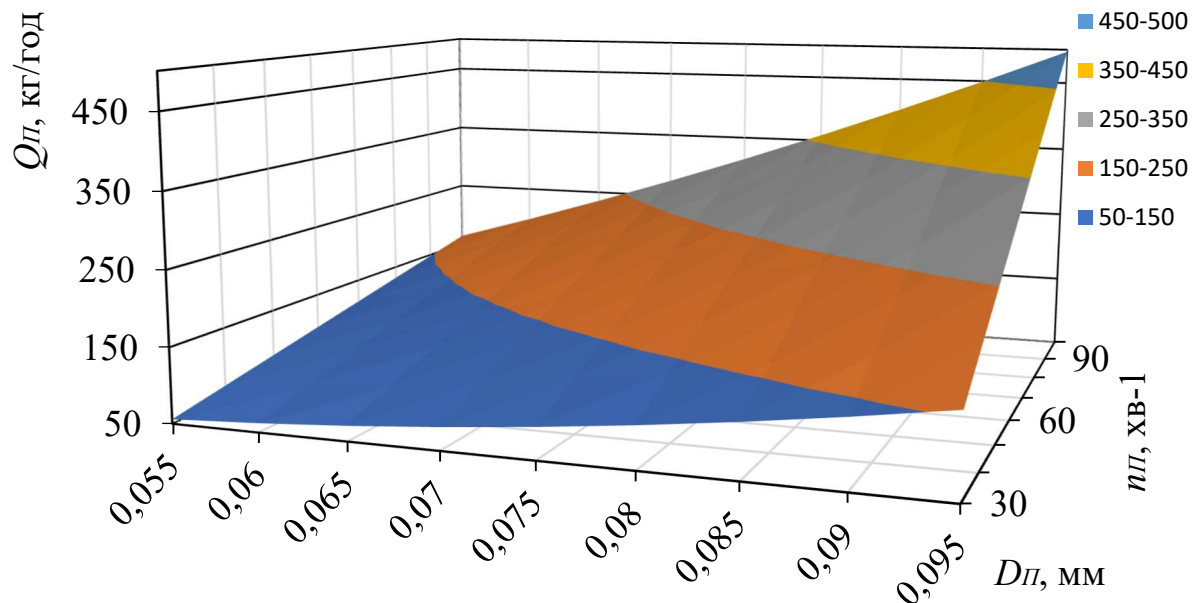


Рисунок 3.7 – Залежність величини подачі Q_{Π} матеріалу, що подрібнюється від частоти обертання n_{Π} і діаметра D_{Π} барабана пристрою живлення

Рівняння (3.20) перевірялося за критерієм Фішера.

$$E_{\text{под}} = 3,583 - 0,057n_{\Pi} - 22,547D_{\Pi} + 0,0004n_{\Pi}^2 + 0,155n_{\Pi}D_{\Pi} + 121,431D_{\Pi}^2 \quad (3.20)$$

Аналіз залежності (Рисунок 3.8) показує, що енергоємність змінюється по нелінійному закону.

Аналіз залежностей (Рисунки 3.7, 3.8) показав, що мінімальна енергоємність процесу подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів

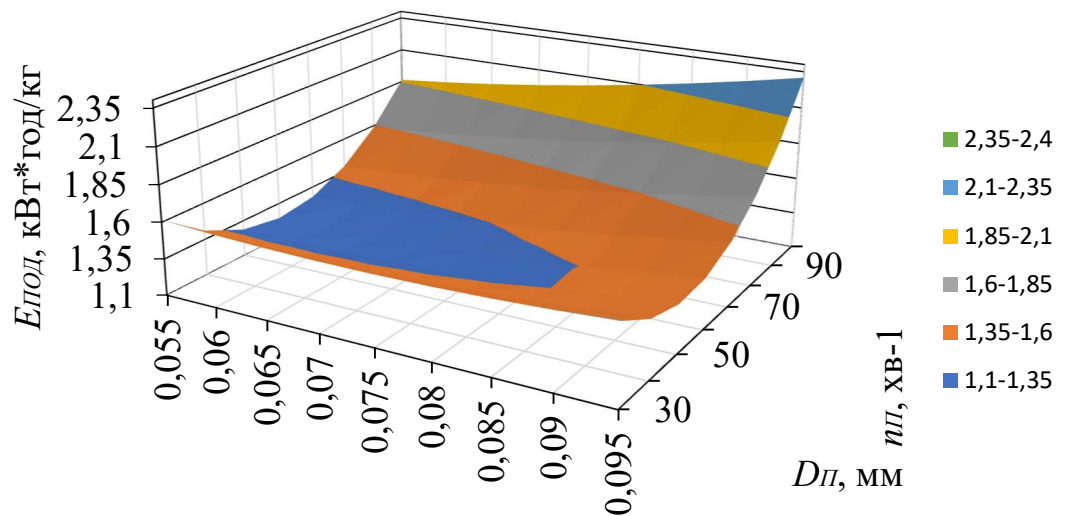


Рисунок 3.8 – Залежність енергоємності процесу подачі $E_{ПД}$ від частоти обертання $n_{П}$ і діаметра $D_{П}$ барабана пристрою живлення

молоткової дробарки, рівна 1,12 - 1,21 кВт·год/кг досягається при частоті обертання $n_{П}$ 60 - 70 хв⁻¹ і діаметрі $D_{П}$ барабана пристрою живлення рівному 0,07м, при цьому величина подачі матеріалу, що подрібнюється становить 250 - 300 кг/год.

3.12 Продуктивність і енергоємність процесу подрібнення від окружної швидкості молотків

На продуктивність молоткової дробарки крім впливу фізико-механічних властивостей і величини подачі матеріалу, що подрібнюється, також роблять значний вплив і робочі органи.

На (Рисунок 3.9) представлені залежності продуктивності молоткової дробарки від окружної швидкості молотків, які показують з прямокутними при окружної швидкості молотків, рівній 40 м/с.

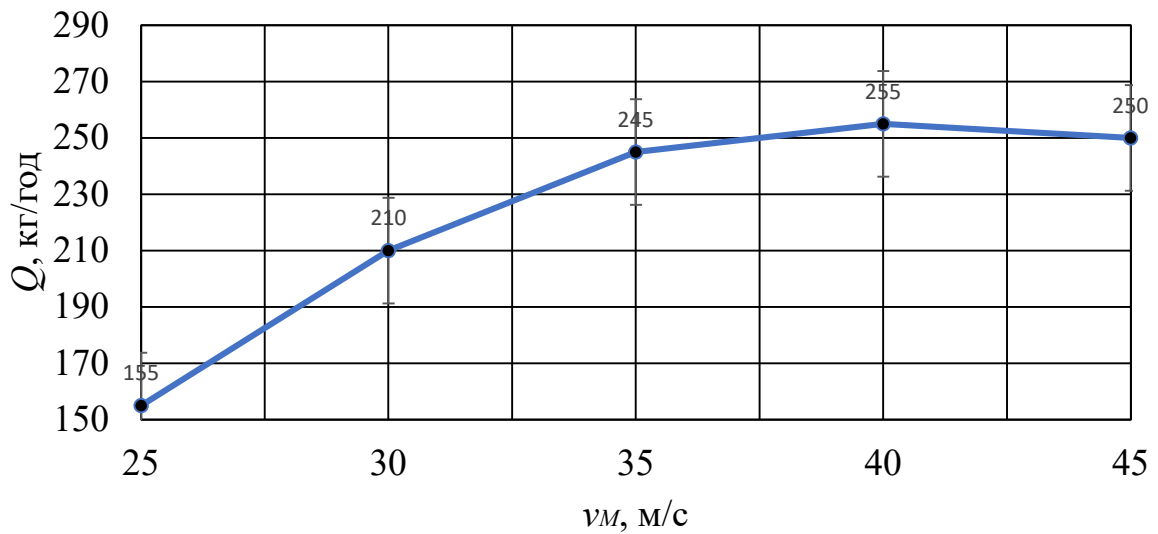


Рисунок 3.9 – Залежність продуктивності Q молоткової дробарки від окружної швидкості молотків v_M

На (Рисунок 3.10) представлена залежність енергоємності процесу подрібнення вугілля від окружної швидкості молотків. З даного рисунка видно, що в межах зміни окружної швидкості від 25 - 35 м/с енергоємність досить висока, це пояснюється тим, що швидкість молотків не достатня для руйнування матеріалу, що подрібнюється.

При значенні окружної швидкості молотків 40м/с енергоємність процесу матеріалу, що подрібнюється, приймає мінімальне значення, тобто окружна швидкість є оптимальною. Це пов'язано з тим, що в дробильній камері відбувається руйнування матеріалу під дією ударів молотків і видалення подрібнених частинок через решето. Зі збільшенням окружної швидкості молотків більше 40м/с енергоємність починає зростати за рахунок збільшення витрат енергії на холостий хід.

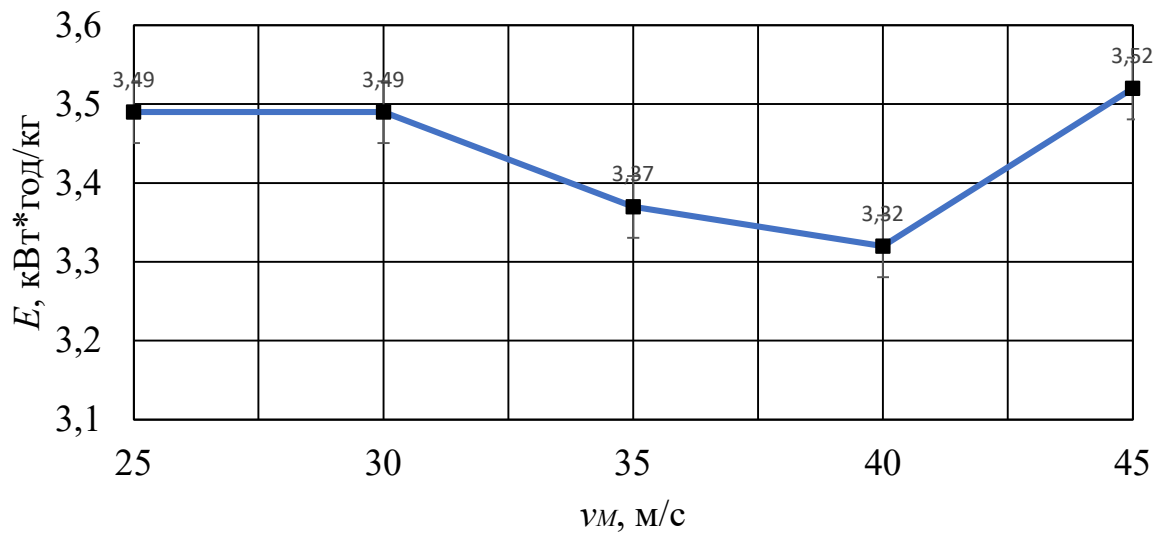


Рисунок 3.10 – Залежність енергоємності процесу подрібнення E від окружної швидкості молотків v_M

3.13 Дослідження впливу окружної швидкості молотків на модуль помелу готового продукту

Проведення експериментальних досліджень дозволили встановити вплив окружної швидкості молотків на модуль помелу готового продукту (Рисунок 3.11).

Аналіз залежності модуля помелу готового продукту від окружної швидкості молотків показує, що при досягненні оптимальної окружної швидкості молотків 40 м/с модуль помелу зменшується, подальше збільшення окружної швидкості веде до збільшення модуля помелу через сильний вентиляційний вплив на подрібнювальну масу. Експериментальна молоткова дробарка забезпечує дрібний помел 0,15 - 0,4 мм.

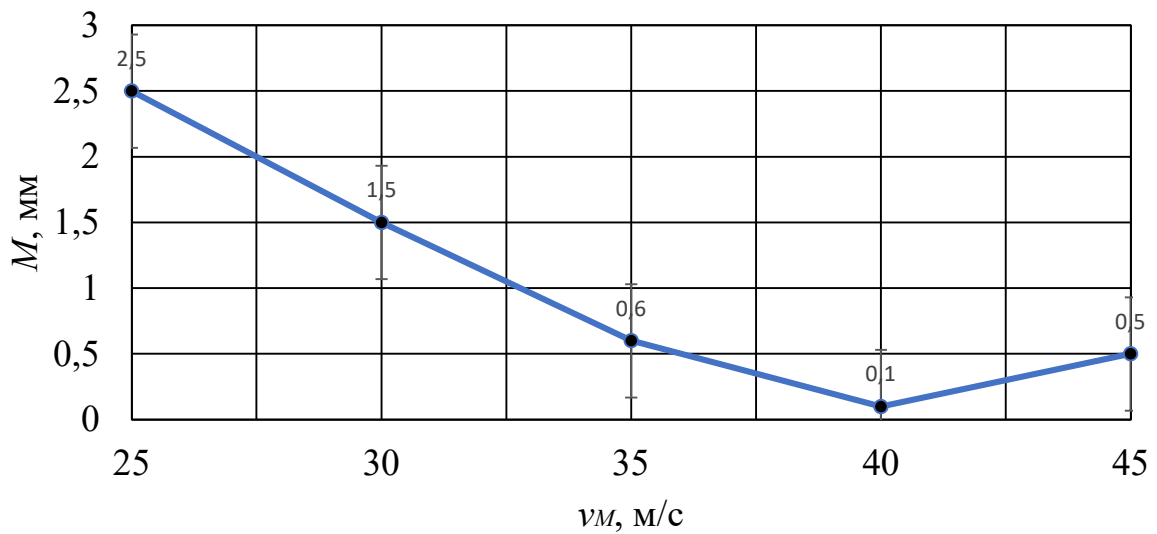


Рисунок 3.11 – Залежність модуля помелу M готового продукту від окружної швидкості молотків v_M

3.14 Вплив величини подачі матеріалу, що подрібнюється, окружної швидкості молотків на продуктивність і енергоємність процесу подрібнення

За результатами досліджень, було отримано рівняння регресії (3.21) і відповідне йому графічна залежність продуктивності молоткової дробарки від величини подачі матеріалу, що подрібнюється і окружної швидкості молотків (Рисунок 3.12).

$$Q = 291,915 + 0,449Q_{II} - 8,267v_M + 0,0004Q_{II}^2 - 0,007Q_{II}v_M + 0,14v_M^2. \quad (3.21)$$

Адекватність опису досвідчених даних рівнянням (3.21) перевірялося за критерієм Фішера.

Як видно з графіка (Рисунок 3.12) при значеннях величини подачі матеріалу, що подрібнюється Q_{II} рівному 300 кг/год і окружної швидкості молотків $v_M=40$ м/с досягається продуктивність молоткової дробарки 300 кг/год.

За результатами проведених досліджень, було отримано рівняння регресії (3.22) і відповідне йому графічна залежність енергоємності процесу подрібнення матеріалів від величини подачі матеріалу, що подрібнюється, й окружної швидкості молотків (Рисунок 3.13).

$$E = 1,4865 - 0,0008Q_{II} - 0,006v_M + 3,6792 \cdot 10^{-6} Q_{II}^2 - 3,7716 \cdot 10^{-5} Q_{II}v_M + 0,0002v_M^2. \quad (3.22)$$

Адекватність опису досвідчених даних рівнянням (3.22) перевірялося за критерієм Фішера.

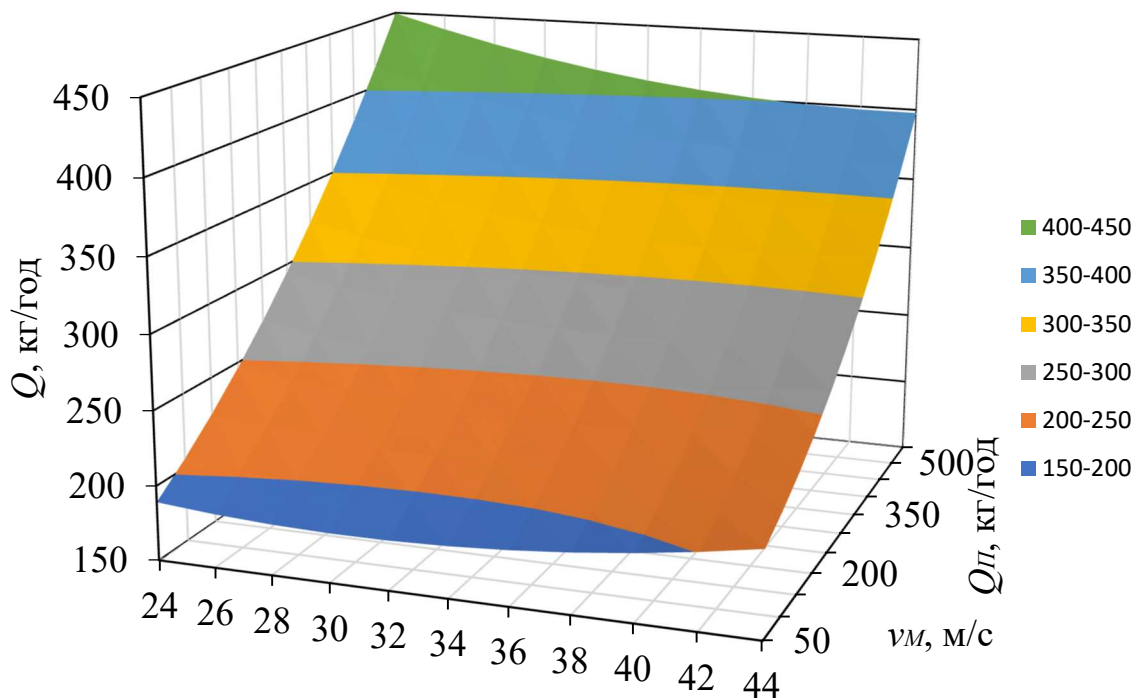


Рисунок 3.12 – Залежність продуктивності Q молоткової дробарки від величини подачі Q_{II} матеріалу, що подрібнюється і окружної швидкості молотків v_M

Як видно з графіка (Рисунок 3.13), енергоємність процесу подрібнення при малій величині подачі матеріалу, що подрібнюється Q_{II} до 250 кг/год збільшується, але зі збільшенням подачі матеріалу, що подрібнюється до робочих органів молотковій дробарки енергоємність починає зменшуватися, оскільки потужність, що підводиться до ротора дробарки залишається постійною. При подачі 300 кг/год досягається мінімальне значення енергоємності 1,23 - 1,35 кВт·год/кг.

Подальше збільшення збільшені подачі призводить до збільшення енергоємності процесу подрібнення і при подачі більше 300 кг/год дробарка працює в режимі завалу.

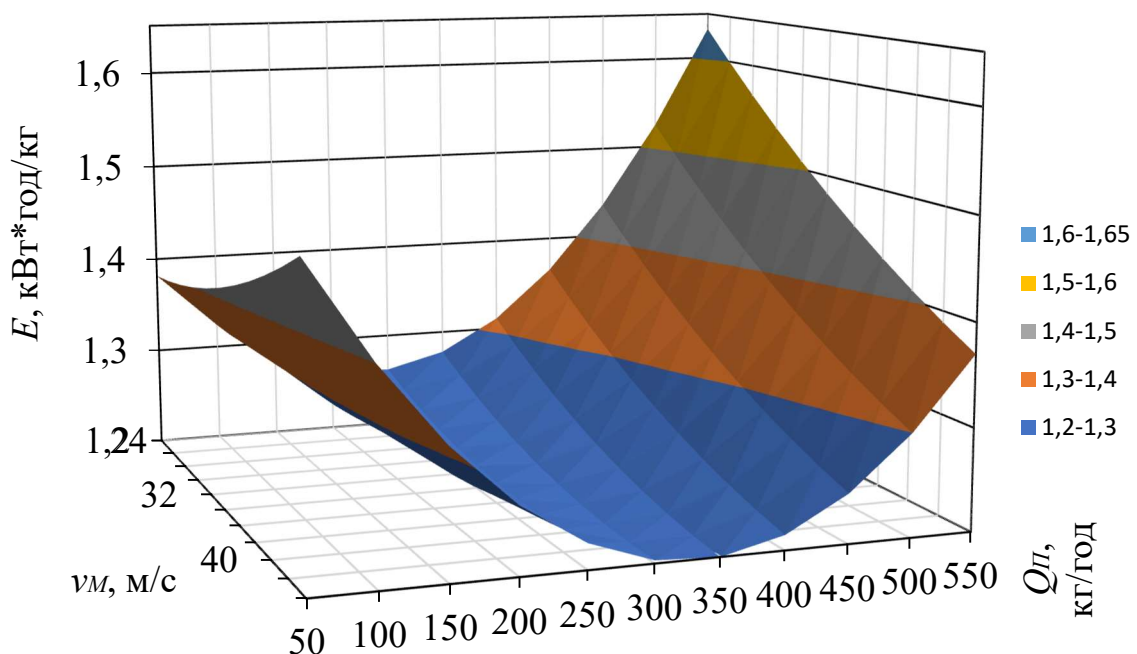


Рисунок 3.13 – Залежність енергоємності процесу подрібнення E від величини подачі Q_{II} матеріалу, що подрібнюється і окружної швидкості молотків v_M

3.15 Відповідність результатів теоретичних і експериментальних досліджень

На рисунках (Рисунки 3.14 і 3.15) представлені теоретична і експериментальна залежності впливу величини подачі матеріалу, що подрібнюється і окружної швидкості молотків на продуктивність молоткової дробарки.

З рисунка (Рисунок 3.14) видно, що експериментальна крива трохи нижче теоретичної, за рахунок мінливості насипної щільності подрібнюваної маси і коефіцієнта заповнення жолоба живильного пристрою.

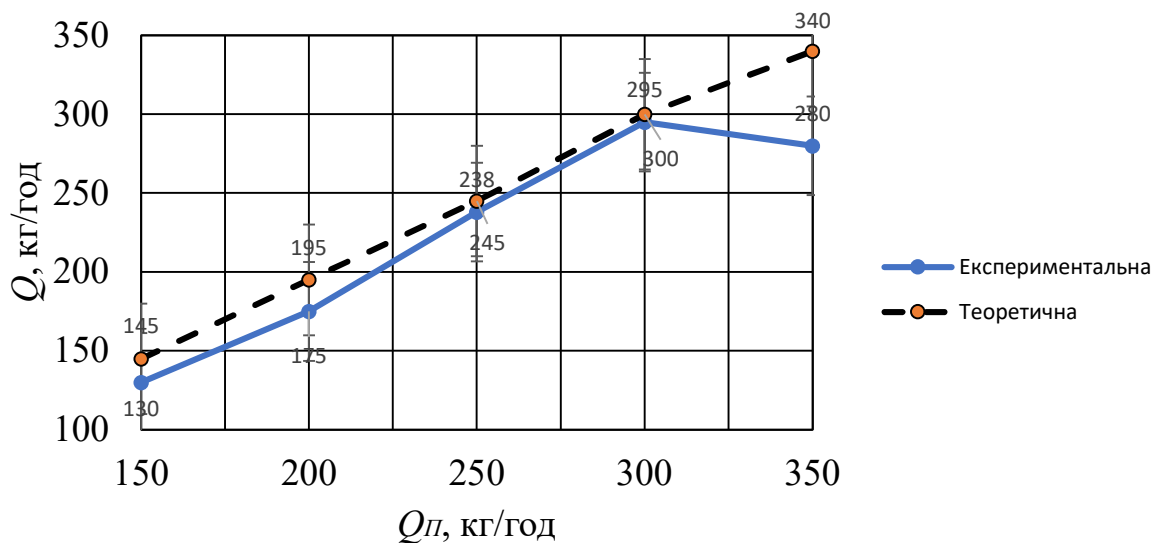


Рисунок 3.14 – Залежність продуктивності Q молоткової дробарки від величини подачі Q_p матеріалу, що подрібнюється

На рисунках (Рисунки 3.16, 3.17) представлені теоретична і експериментальна залежності впливу величини подачі матеріалу, що подрібнюється і окружної швидкості молотків на енергоємність процесу подрібнення.

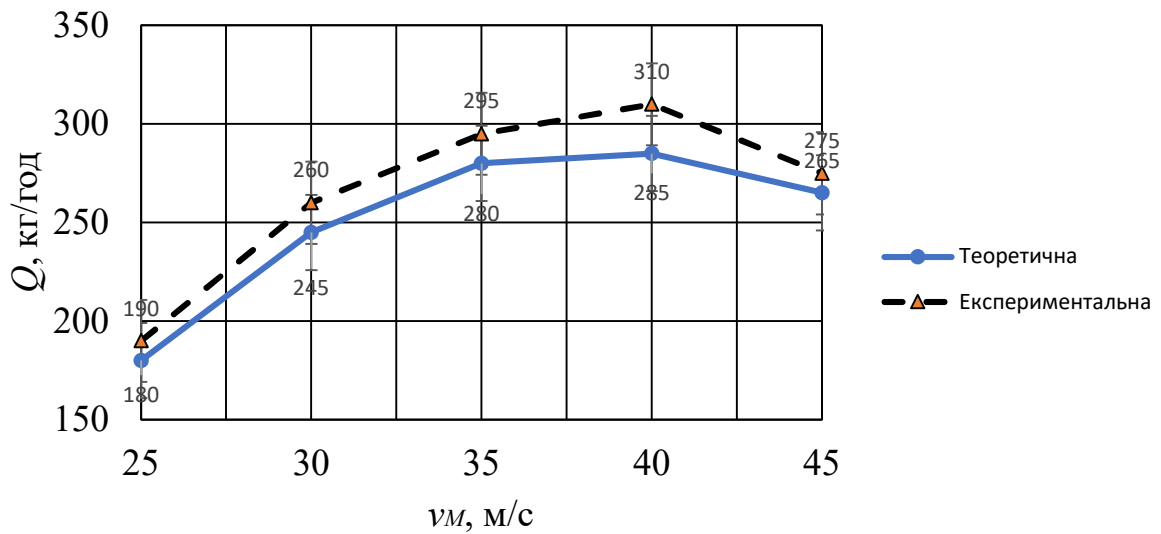


Рисунок 3.15 – Залежність продуктивності Q молотковій дробарки від окружної швидкості молотків v_M

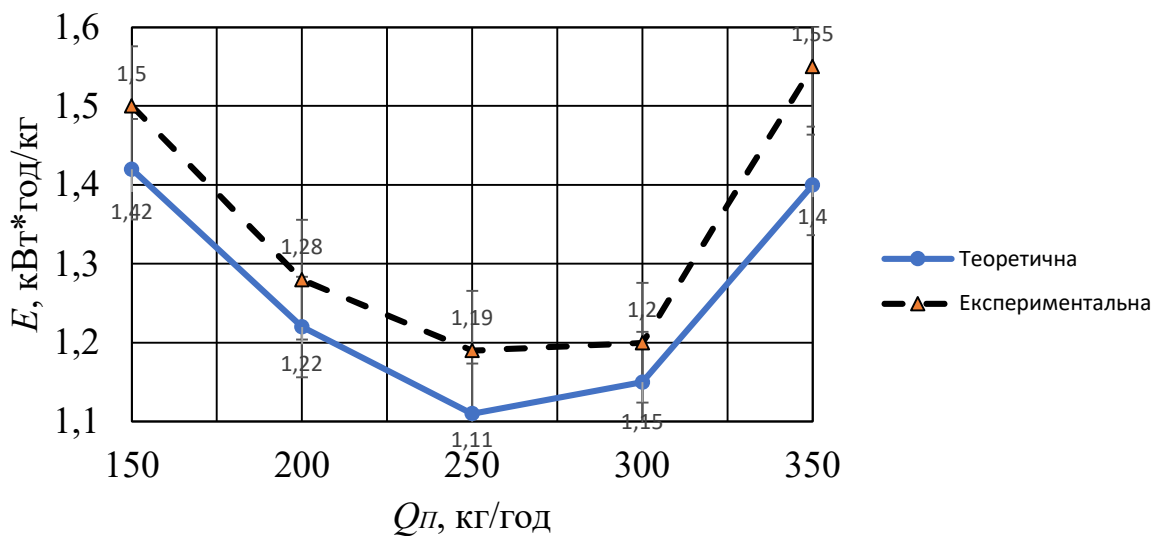


Рисунок 3.16 – Залежність енергоємності E процесу подрібнення від величини подачі Q_L матеріалу, що подрібнюється

Аналізуючи залежності (Рисунки 3.14 – 3.17) можна зробити висновок, що продуктивність і енергоємність молотковій дробарки від подачі матеріалу, що подрібнюється і окружної швидкості молотків змінюються по нелінійної

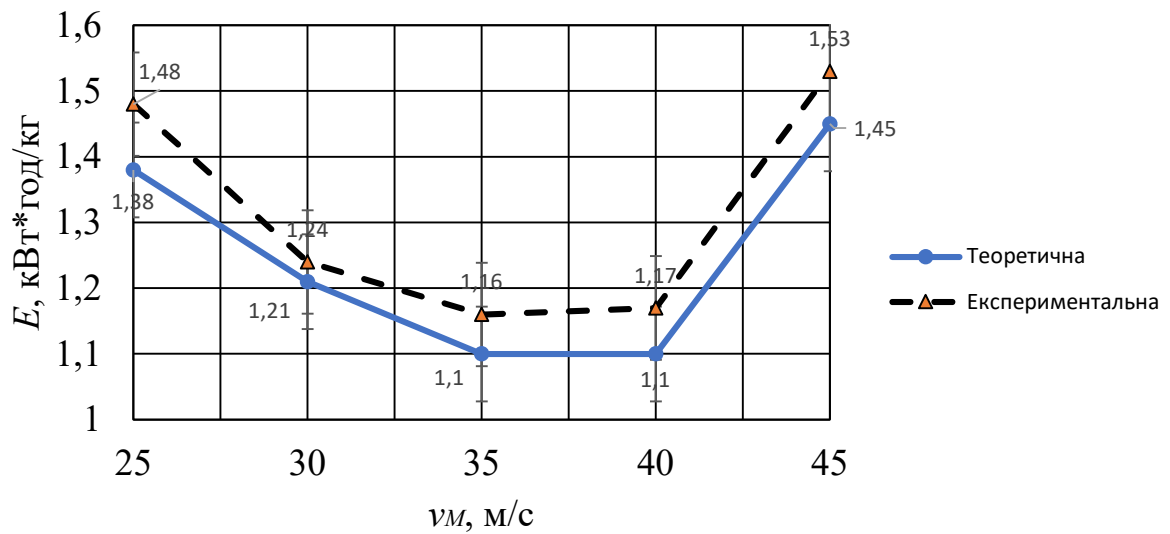


Рисунок 3.17 – Залежність енергоємності E процесу подрібнення від окружної швидкості молотків v_M

закономірності і узгоджуються на підставі критерію Пірсона з довірчою ймовірністю 0,95.

3.16 Висновки по розділу

З результатів експериментальних досліджень обґрунтовано та отримано:

- а) схема молоткової дробарки, що включає в себе пристрій живлення барабанного типу з жолобами, з протилежних сторін яких повернені відносно один одного;
- б) визначення продуктивності пропонованої конструкції пристрою живлення;
- в) визначення кута повороту лопаті жолоби, при якому відбувається його повне розвантаження від маси матеріалу що подрібнюється;
- г) визначення відносної швидкості руху маси матеріалу, що подрібнюється по лопаті пристрою живлення;

- д) подано закон руху маси матеріалу, що подрібнюється до робочої поверхні молотка;
- е) отримано вирази для визначення кінетичної енергії удару запропонованої конструкцією молотка. Отримані вирази для визначення продуктивності молоткової дробарки і енергоємності процесу подрібнення з урахуванням ступеня подрібнення і якості готового продукту.

Виходячи з результатів експериментальних досліджень:

- а) За результатами досліджень було вибрано поздовжнє розташування пристрою живлення щодо вала ротора дробарки при якому величина подачі збільшується на 5 - 7%, а енергоємність процесу подачі знижується на 7 - 10%.
- б) Мінімальна енергоємність процесу подачі матеріалу, дорівнює 1,12 - 1,21 кВт·год/кг досягається при частоті обертання 60 - 70 хв⁻¹ і діаметрі D_{II} барабана пристрою живлення 0,07 м, при цьому величина подачі матеріалу, що подрібнюється становить 250 - 300 кг/год.
- в) При значенні окружної швидкості молотків 40 м/с енергоємність процесу приймає мінімальне значення.
- г) Оптимальні параметри роботи молоткової дробарки забезпечується дрібний помел 0,15 - 0,4 мм при величині подачі 300 кг/год і окружної швидкості молотків 40 м/с.
- д) При значенні величини подачі рівній 300 кг/год досягається значення продуктивності молоткової дробарки 300 кг/год і відповідне їй значення енергоємності 1,23 - 1,35 кВт · год / кг.

ВИСНОВКИ

В роботі розв'язано задачу підвищення продуктивності і зниження енергоємності процесу подрібнення шляхом застосування удосконаленої конструкції пристрою подачі.

Отримано теоретичні залежності, що дозволяють визначити вплив конструкційних й технологічних параметрів на його продуктивність і енергоємність процесу подрібнення, а саме: вираз для визначення продуктивності розглянутої конструкції живильного пристрою; визначення кута повороту лопаті жолобу, при якому відбувається його повне розвантаження; визначення відносної швидкості руху маси матеріалу, що подрібнюється матеріалу по лопаті живильного пристрою; закон руху маси матеріалу, що подрібнюється; отримані вирази для визначення продуктивність молоткової дробарки і енергоємності процесу подрібнення з урахуванням ступеня подрібнення і якості готового продукту.

Застосування нового пристрою живлення дозволить – збільшити величину подачі матеріалу, що подрібнюється, на 8 - 12%, а також знизити енергоємність процесу подачі на 7 - 10%.

При значенні діаметра барабана пристрою живлення 0,07 м, і частоти обертання дорівнює 70 хв^{-1} , а також окружної швидкості молотків, рівній 40 м/с, забезпечується продуктивність молоткової дробарки 300 кг/год і відповідна їй енергоємність процесу 0,8 - 1,0 кВт · год/кг при подрібненні вугілля, та це передбачає що витрата електроенергії знизиться на 30%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гийо Р. Проблема измельчения материалов и ее развитие: Пер. с француз. / Роже Гийо. – Москва: Стройиздат, 1964. – 348 с.
2. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер. – Москва: Мир, 1977. – 555 с.
3. Клушанцев Б. В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.
4. Борщёв В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие. / В. Я. Борщёв. – Тамбов: ТГТУ, 2004. – 75 с.
5. Беренов Д. И. Дробильное оборудование обогатительных и дробильных фабрик / Д. И. Беренов. – Свердловск: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1958. – 296 с.
6. Донченко А. С. Эксплуатация и ремонт дробильного оборудования / А. С. Донченко, В. А. Донченко. – Москва: Недра, 1972. – 320 с.
7. Лейбович Р. Е. Технология коксохимического производства: учебник для техникумов / Р. Е. Лейбович, Е. И. Яковлева, А. Б. Филатов. – Москва: Металлургия, 1982. – 360 с. – (3-е изд., перераб. и доп.).
8. Андреев С. Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / С. Е. Андреев, В. А. Перов, В. В. Зверевич. – Москва: Недра, 1980. – 415 с.
9. Булычёв В. В. Дробильные машины. Конструкция, эксплуатация и ремонт / В. В. Булычёв. – Свердловск: Metallurgizdat, 1957. – 212 с. – (Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии. Свердловское отделение).

10. Булычёв В. В. Дробильные машины. Конструкция, эксплуатация и ремонт / В. В. Булычёв. – Свердловск: Metallurgizdat, 1957. – 212 с. – (Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии. Свердловское отделение).
11. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация) / В. П. Барабашкин. – Москва: Mashgiz, 1963. – 245 с.
12. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки (конструкция, расчет, монтаж и эксплуатация) / В. П. Барабашкин. – Москва: Недра, 1973. – 194 с.
13. Роторные дробилки / В. А. Бауман, В. А. Стрельцов, А. И. Косарев, А. И. Слуцкер. – Москва: Машиностроение, 1973. – 272 с.
14. Фишман М. А. Дробилки ударного действия / М. А. Фишман. – Москва: Госгортехиздат, 1960. – 200 с.
15. Хлынин П. П. Совершенствование конструктивно-режимных параметров дробилки молоткового типа : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / Хлынин П. П. – Ориенбург, 2003. – 19 с.
16. Измельчение на бесситовой дробилке / Л. А. Глебов, С. В. Зверев, А. А. Хитов, И. Г. Восина. // Комбикормовая промышленность. – 1988. – №4. – С. 45–46.
17. Оценка эффективности работы дробилок / Л. А. Глебов, С. В. Зверев, А. А. Хитов, А. А. Восина. // Оценка эффективности работы дробилок. – 1987. – №6. – С. 26–42.
18. Коношин И. В. Совершенствование процесса измельчения и обоснование конструктивно-режимных параметров молотковой дробилки с решетом спиралевидной формы : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Коношин И. В. – Орёл, 2004. – 146 с.

19. Елисеев В. А. Влияние числа пакетов молотков на работу дробилок / В. А. Елисеев, А. М. Тарасенко. // Тр. Саратовского ин-та мех. с.-х им. Калинина. – 1970. – №46. – С. 9–13.
20. Барабашкин В. П. Молотковые и роторные дробилки / В. П. Барабашкин. – Москва: Наука, 1973. – 143 с. – (2-е изд., перераб. и доп.).
21. Воронин В. В. Совершенствование рабочего процесса безрешетной молотковой дробилки : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Воронин В. В. – Воронеж, 2006. – 157 с.
22. Дружинин Р. А. Совершенствование рабочего процесса ударно-центробежного измельчителя : дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Дружинин Р. А. – Воронеж, 2014. – 169 с.
23. Алферов В. Р. Бункерные установки / В. Р. Алферов, Р. Л. Зенков. – Москва: Машгиз, 1955. – 304 с.
24. Драгилев А. И. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей / А. И. Драгилев. – Москва: Колос, 2001. – 352 с.
25. Зенков Р. Л. Механика насыпных грузов / Р. Л. Зенков. – Москва: Машгиз, 1964. – 251 с.
26. Зенков Р. Л. Бункерные устройства / Р. Л. Зенков, Г. П. Гриневич, В. С. Исаев. – Москва: Машиностроение, 1977. – 223 с.
27. Рогинский Г. А. Дозирование сыпучих материалов / Г. А. Рогинский. – Москва: Химия, 1978. – 176 с.
28. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур / П. А. Ребиндер. – Москва: Наука, 1966. – 63 с.
29. Исследование устройства измельчения сыпучих материалов скалывающего типа / [В. В. Коновалов, А. В. Чупшев, В. П. Терюшков та ін.]. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – №2. – С. 57–63.

- 30.Макаров В. И. Машины для дробления и сортировки материалов: Справочник / В. И. Макаров, В. П. Соколов. – Москва: Машиностроение, 1966. – 158 с.
- 31.Патент України на корисну модель UA 118558 U, B02C 13/00. Молоткова дробарка / М.В. Якимчук, Л.І. Іванова, Є.Л Скуйбіда, В.М. Якимчук. – № и 2017 02509; заявл. 20.03.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. №15, 2017р.
- 32.Патент України на корисну модель UA 117990 U, B02C 13/00, B02C 13/04. Молоткова дробарка / І.І. Равенко, Ю.І. Равенко. – № и 2017 02951; заявл. 28.03.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. №13, 2017р.
- 33.Патент України на корисну модель UA 113310 U, B02C 13/04. Малогабаритна молоткова дробарка комбінованої дії / Р.Д. Кузьмінський, О.Р. Соколовський, Р.Б. Шеремета. – № и 2016 07011; заявл. 29.06.2016; опубл. 25.01.2017, Бюл. №2, 2016р.
- 34.Патент на винахід 020274, B1, B02C 13/04, B02C 13/28, B02C 13/284. Молотковая дробилка / Т. БУШХОФФ ГМБХ УНД КО, В. Бушхофф, В.Н. Медведев. – № 201270420; заяв. 07.09.2010; опубл. 30.09.2014.
- 35.Патент на винахід RU 2477657, B02C 13/04. Молотковая дробилка / В.В Бондарь, Д.В. Бондарь, В.Л. Васильев, Л.П. Зарогатский, О.А. Пирогова. – заяв. 12.08.2012; опубл. 20.03.2013.
- 36.Патент України на винахід UA 58430 C2, B02C 13/04. Молоткова дробарка для виробництва кубоподібного щебеню / О.В. Булигін. – № и 2003054314; заявл. 14.05.2003; опубл. 15.11.2006, Бюл. №11, 2006р.
- 37.Патент України на корисну модель UA 54070 U, B02C 13/00. Молоткова дробарка / Д.М. Лясник, Д.А. Лясник. – № и 2010 05044; заявл. 26.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20, 2010р.
- 38.Патент України на корисну модель UA 49573 U, B02C 13/00. Дробарка молоткова / С.І. Шмат, П.Г. Лузан, Ю.В. Мачок, К.Д Матвеев, О.Р. Лузан. – № и 2009 12028; заявл. 26.04.2010; опубл. 26.04.2010, Бюл. №8, 2010р.

39. Патент на винахід RU 2279920, B02C 13/02. Молотковая дробилка / В.А. Сысуев, П.А. Савиных, А.В. Алешкин, Н.А. Чернятьев, О.Ю. Медведев. – заяв. 31.05.2004; опубл. 20.07.2006.
40. Патент на винахід RU 2209667, B02C 13/02. Молотковая дробилка / В.А. Сысуев, П.А. Савиных, Н.А. Чернятьева, А.В. Алешкин, Н.В. Турубанов, А.В. Палкин. – заяв. 11.04.2002; опубл. 10.08.2003.
41. Патент на винахід RU 2031711, B02C 13/02. Молотковая дробилка / В.Т. Сироткин. – заяв. 29.01.1992; опубл. 27.03.1995.
42. Елисеев М. М. Обоснование конструктивно-кинематических параметров питающего устройства / М. С. Елисеев, Д. А. Рыбалкин, А. М. Леонтьев, А. А. Марадудин // Аграрный научный журнал. – 2017. – №9. – С. 50–56.
43. Яблонский А. А. Курс теоретической механики: учебник. 16-е изд., стер. / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. – Москва: КНОРУС, 2011. – 608 с.
44. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг. – Москва: Высшая школа, 1995. – 416 с.
45. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – Москва: Колос, 1967. – 159 с.
46. Костин В. Н. Статистические методы и модели: Учебное пособие / В. Н. Костин, Н. А. Тишина. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 1990. – 255 с.
47. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Макарова, Ю. Б. Грановский. – Москва: Наука, 1976. – 280 с.
48. Патент України на корисну модель UA 121444 U, B02C 13/04, B02C 25/00, G01H 17/00. Стенд для дослідження процесу роботи молоткової дробарки / І.І. Шевченко, Ю.Г. Кобрін, А.Р. Мемарнішвілі. – № u201704898; заявл. 22.05.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл. №23, 2017р.
49. Хомицький А. С. Вдосконалення процесу подрібнення матеріалів в молоткових дробарках / А. С. Хомицький, І. А. Шевченко. // МАТЕРІАЛИ

XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Запорізький національний університет Інженерний інститут. – 2019. – №24. – С. 48–49.

50. Хомицький А. С. Необхідність дроблення матеріалів в молоткових дробарках / А. С. Хомицький, Ю. Г. Кобрін. // МАТЕРІАЛИ XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Запорізький національний університет Інженерний інститут. – 2019. – №24. – С. 54.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

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



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

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

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

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

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В МОЛОТКОВИХ ДРОБАРКАХ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра МО

Після аналізу існуючих конструкцій молоткових дробарок, а також патентного огляду теоретичних й практичних досліджень встановлено основні проблеми, якими найчастіше схильні більшість конструкцій молоткових дробарок, а саме: нерівномірність подачі матеріалу що подрібнюється, досить висока енергоємність процесу подрібнення.

Метою всіх досліджень та вдосконалень в світі є: підвищення продуктивності та зменшення енергоємності процесу дроблення та подрібнення, а також збільшення терміну роботи робочих органів.

Цього можна досягти: поліпшивши конструктивні міцності робочих елементів дробарок – молотків, броньових плит та колосників, так і поліпшивши технологічний процес, зокрема – подаванні дробимого матеріалу до робочого простору дробарки.

Рівномірна подача матеріалу до робочих органів молоткової дробарки дозволяє підвищити якість подрібнення. Одним з важливих конструктивних елементів в молоткових дробарках є завантажувальний пристрій, який служить в якості проміжної одиниці, яка забезпечує стабільність процесу подавання матеріалу, що подрібнюється, до робочих органів дробарки – молотків та колосників.

Стрельцов Д.О., ст. гр. МБ-18мз,
Шевченко І.А., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ЩОКОВИХ ДРОБАРОК

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра МО

Аналіз критеріїв руйнування матеріалу дозволив виявити об'єктивні характеристичні критерії руйнування дробленого матеріалу, що є показниками ефективності процесу дроблення і відповідно визначають оптимальні параметри конструкції дробарки. Це гранулометричні і енергетичні показники якості подрібнювальності. Вибір параметрів конструкції дробильної машини з урахуванням гранулометричних і енергетичних показників якості подрібнювальності забезпечує реалізацію раціональних режимів роботи дробарки. У разі невідповідності параметрів конструкції дробарки властивостям матеріалу, що переробляється знижується якість готового продукту і має місце схильність до пресування матеріалу.

При цьому, в якості параметрів оптимізації конструкції шокової дробарки слід розглядати геометричні та кінематичні характеристики її дроблячого простору: кут захоплення, розміри камери дроблення, кінематичні та геометричні характеристики руху точок дроблячої поверхні, хід стиснення дроблячих плит, частота хитань рухомої щоки, поздовжній профіль дроблячих плит.

Зазначені характеристики камери дроблення, в свою чергу, визначаються параметрами кінематичної схеми, її структурною схемою, розмірами ланок і відносним розташуванням стійок механізму.

ДОДАТОК Б

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



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

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

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

Хомицький А.С.⁽¹⁾, ст. гр. МБ-18мз,
Кобрін Ю.Г.⁽²⁾, аспірант кафедри МАМВ

НЕОБХІДНІСТЬ ДРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В МОЛОТКОВИХ ДРОБАРКАХ

⁽¹⁾ Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра МО

⁽²⁾ Національна металургійна академія України, кафедра МАМВ

Однією з операцій, що впливають на якість готового продукту і на енерговитрати в металургії та інших галузях, необхідної на його виробництво – це операції дроблення та подрібнення.

Пошук оптимізації операції дроблення та подрібнення, як показали дослідження різних вчених, можливий за рахунок застосування найбільш ефективного дроблячого обладнання.

Аналіз існуючих дроблячих машин показав, що основними машинами для дроблення та подрібнення різних матеріалів до досить малого розміру дробимого шматка – є молоткові дробарки. Існуючі в даний час конструкції молоткових дробарок за рахунок універсальності в їх конструкції та відповідної адаптації – дозволяють збільшити продуктивність процесу і зменшити енергоємність процесу подрібнення.

Актуальним є – підвищення продуктивності і зниження енергоємності процесу дроблення та подрібнення молотковими дробарками, за рахунок вдосконалення їх конструктивно-режимних і технологічних параметрів.

У молоткових дробарках (Рисунок 1) процес подрібнення відбувається за рахунок впливу на подрібнення матеріалу шарнірно-підвішеними на роторі молотками. Молоткові дробарки відрізняються досить високим ступенем подрібнення. Перевагами молоткових дробарок є: швидкий вихід подрібненого матеріалу з дробильного простору, можливість регулювати ступінь дроблення та подрібнення, легка заміна зношуються робочих органів, механізоване завантаження матеріалу що подрібнюється.

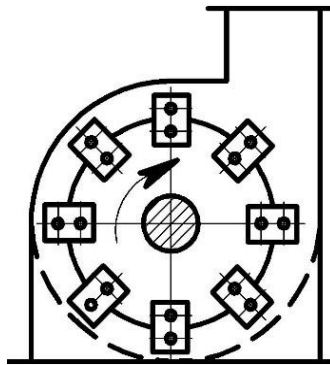


Рисунок 1 – Схема молоткової дробарки

Література:

1. Клушанцев Б. В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации / Б. В. Клушанцев, А. И. Косарев, Ю. А. Муйземнек. – Москва: Машиностроение, 1990. – 320 с.
2. Борщев В. Я. Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие. / В. Я. Борщев. – Тамбов: ТГТУ, 2004. – 75 с.
3. Беренов Д. И. Дробильное оборудование обогатительных и дробильных фабрик / Д. И. Беренов. – Свердловск: Государственное научно-техническое издательство литературы по чёрной и цветной металлургии, 1958. – 296 с.

ДОДАТОК В

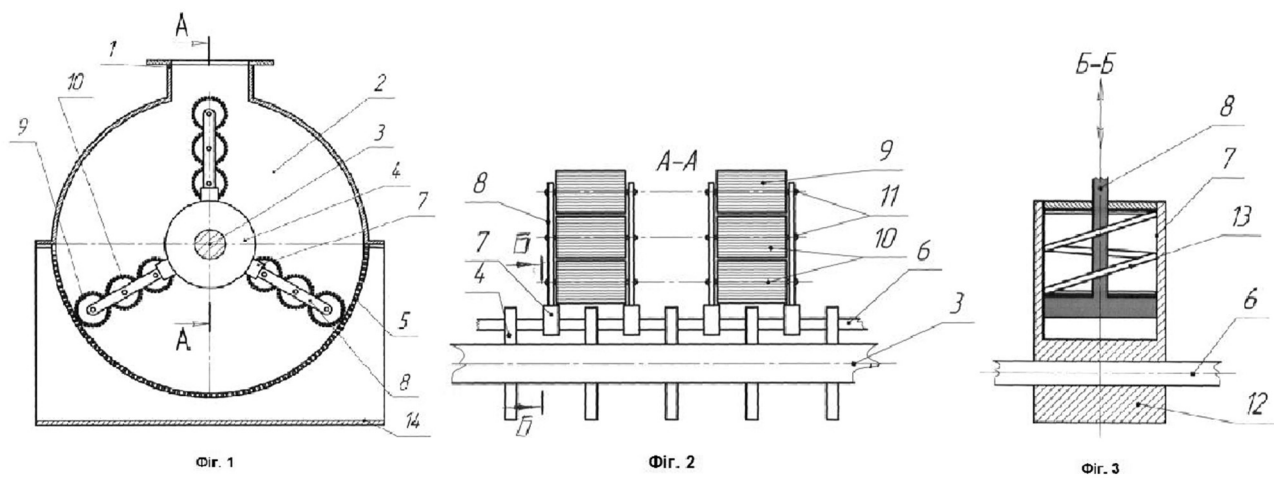


Рисунок В.1.13 – Молоткова дробарка

ДОДАТОК Д

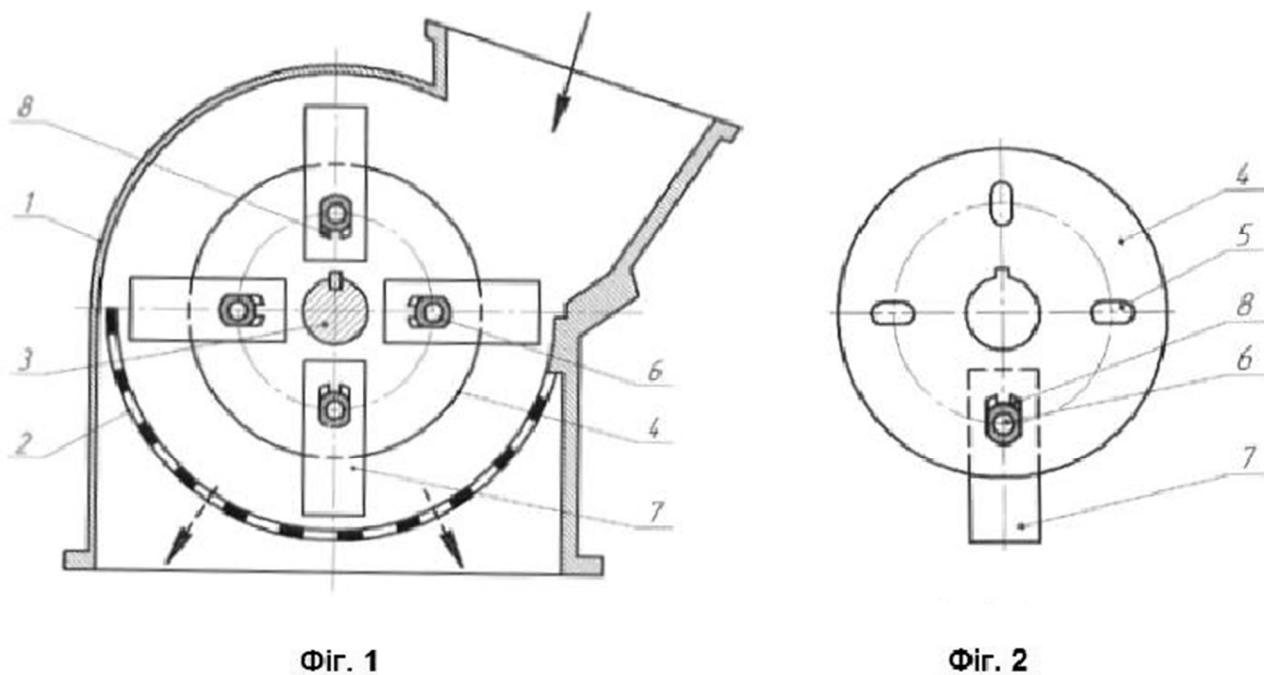


Рисунок Д.1.14 – Молоткова дробарка

ДОДАТОК Е

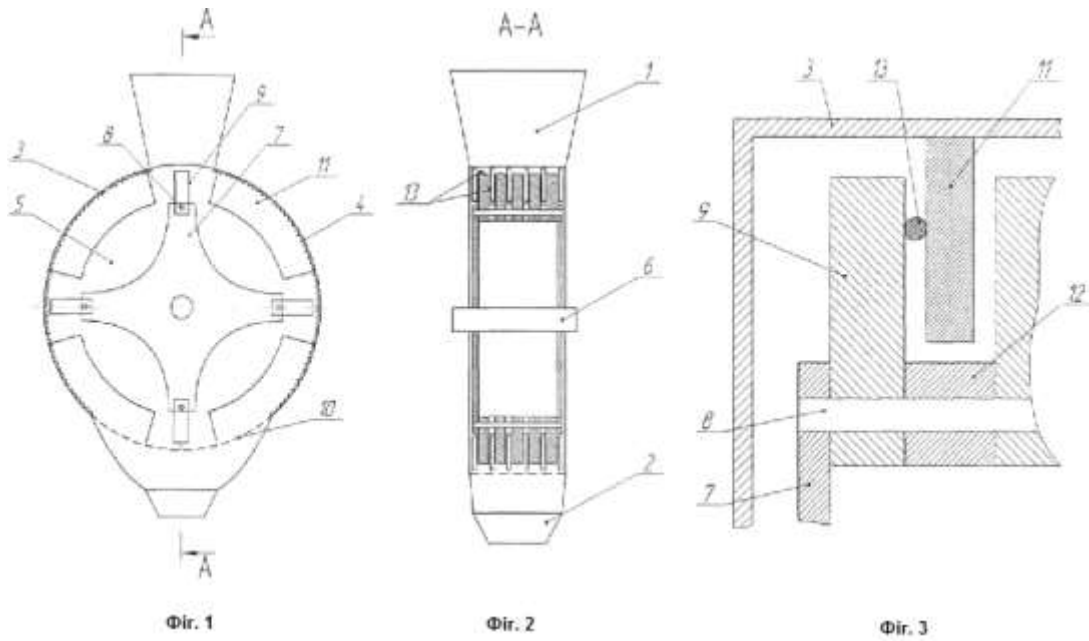


Рисунок Е.1.15 – Малогабаритна молоткова дробарка комбінованої дії

ДОДАТОК Ж

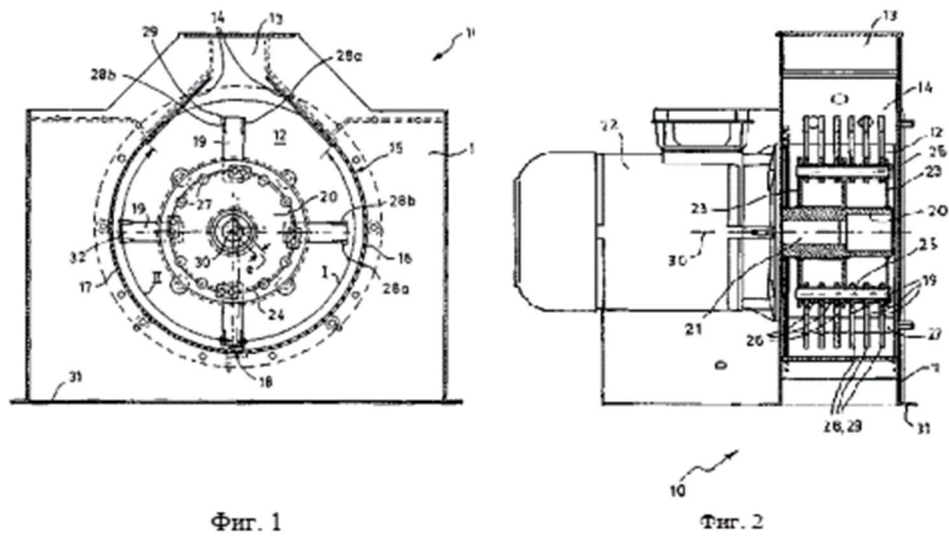


Рисунок Ж.1.16 – Молоткова дробарка

ДОДАТОК И

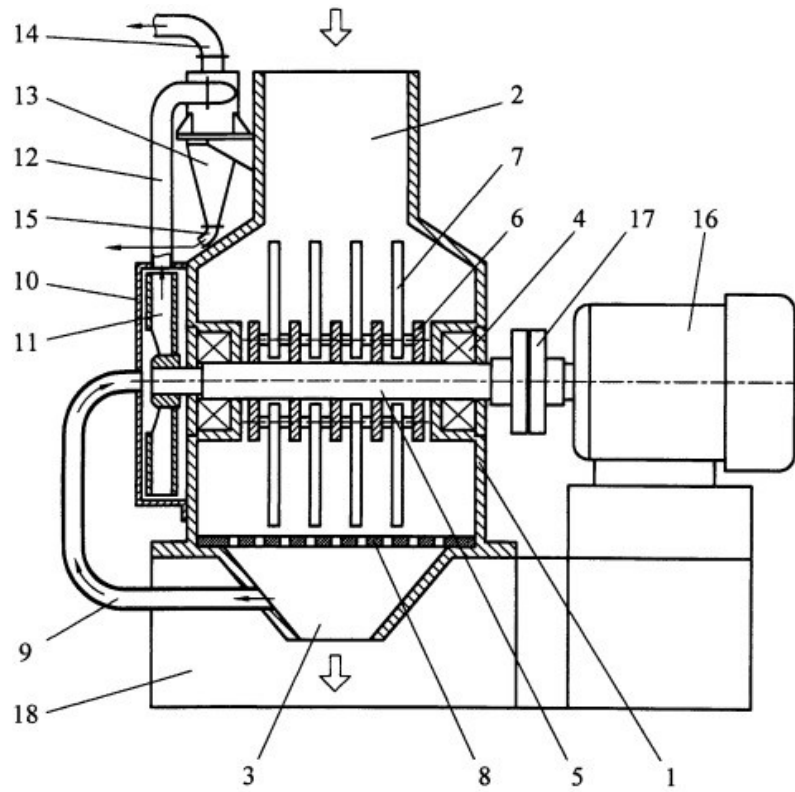
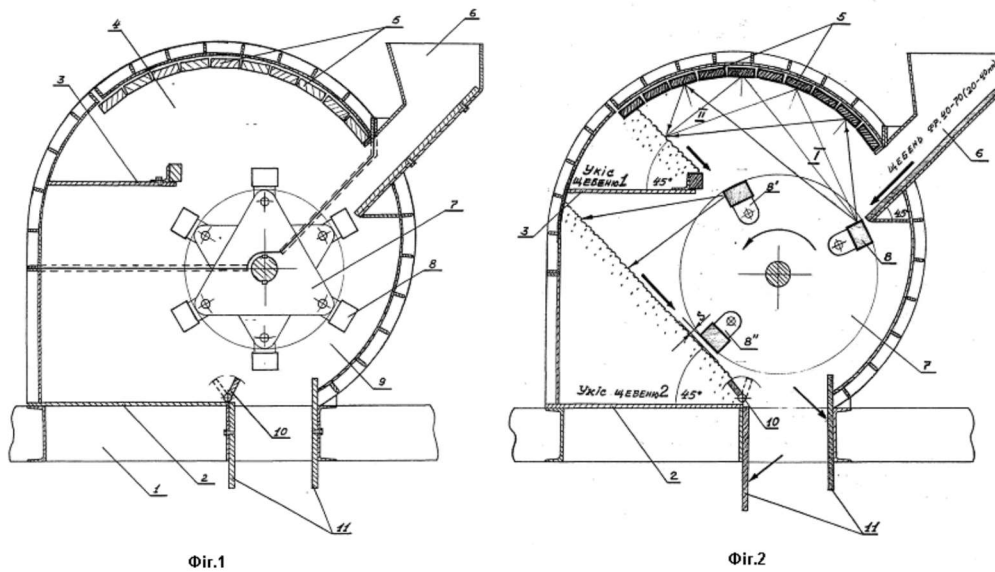


Рис. 1

Рисунок И.1.17 – Молоткова дробарка

ДОДАТОК К



Фиг.1

Фиг.2

Рисунок К.1.18 – Молоткова дробарка для виробництва кубоподібного щєбеню

ДОДОТОК М

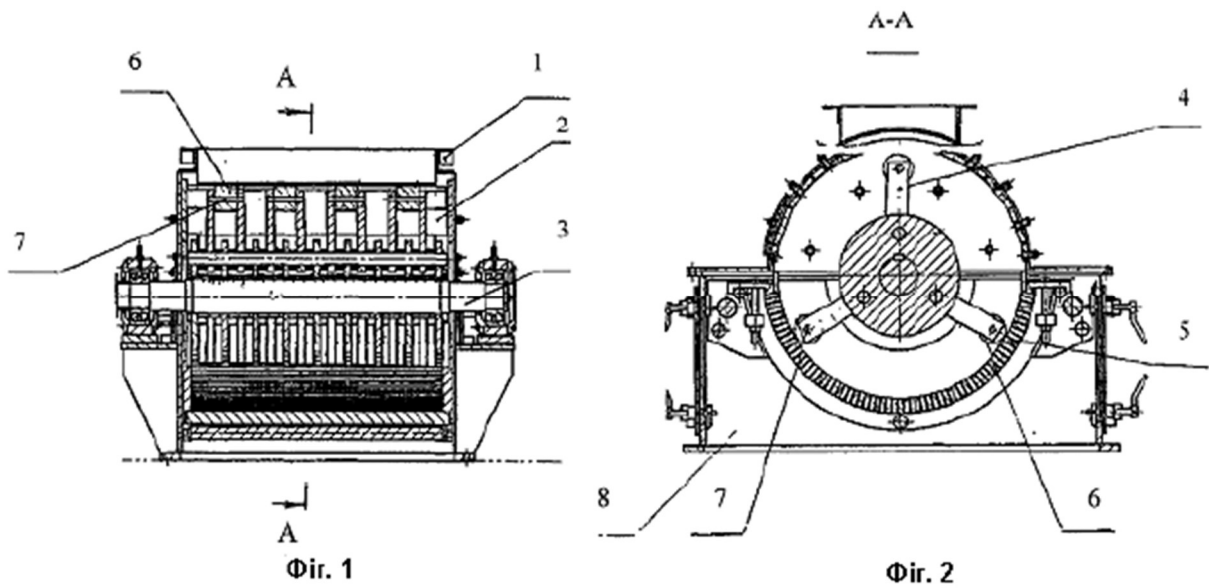


Рисунок М.1.19 – Молоткова дробарка

ДОДОТОК Н

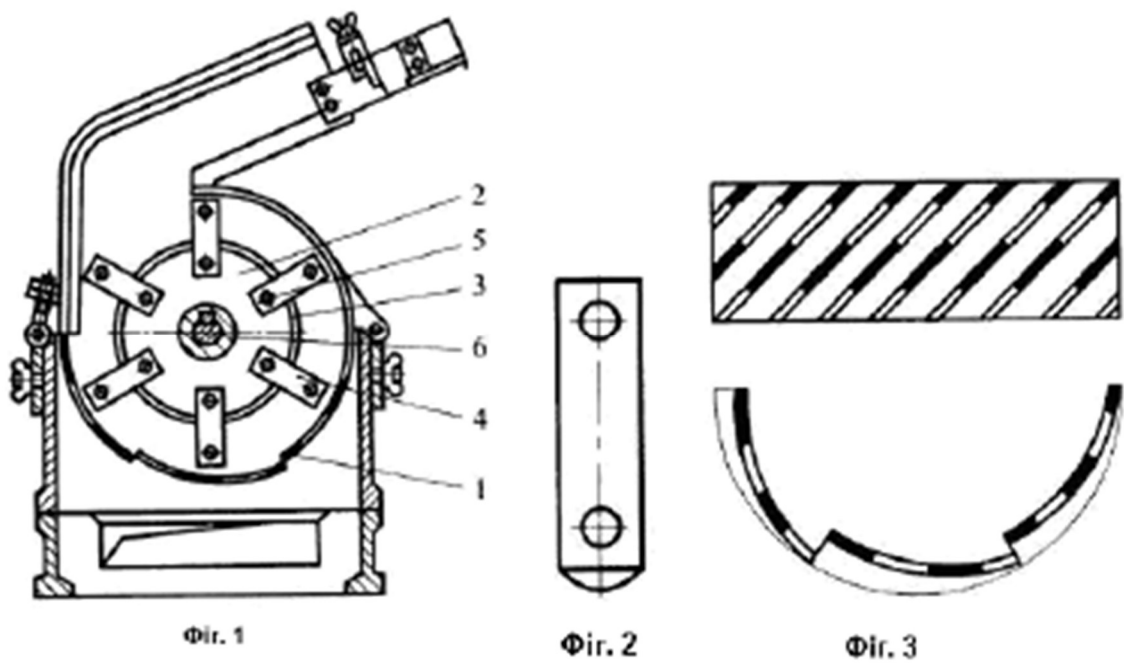
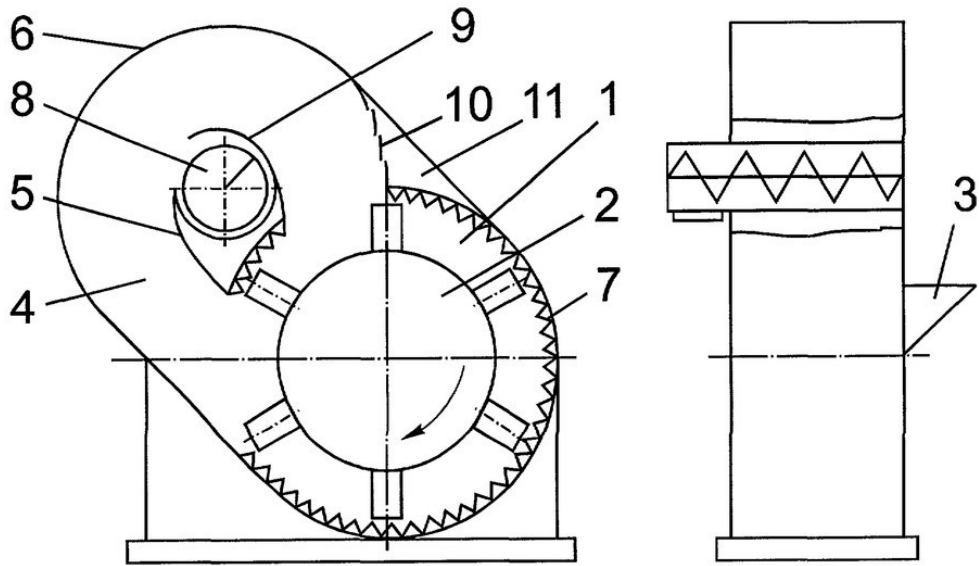


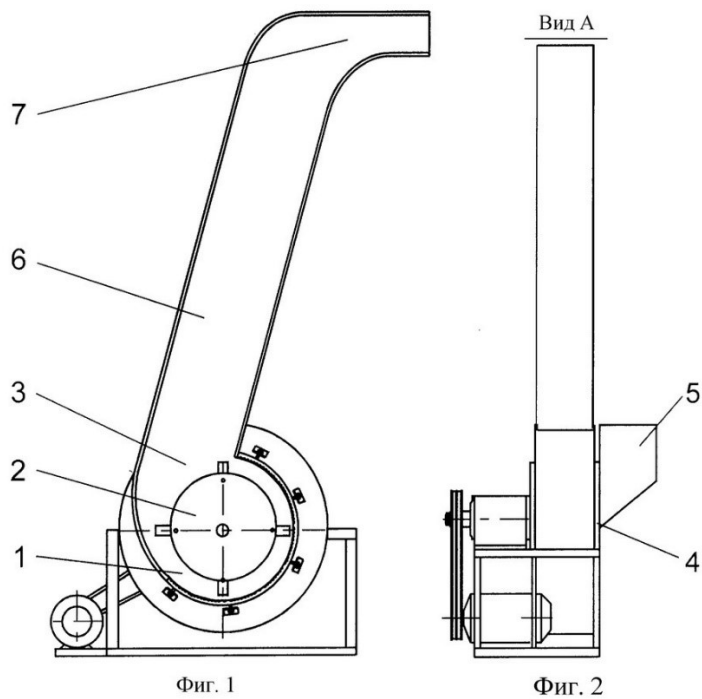
Рисунок Н.1.20 – Дробарка молоткова

ДОДОТОК Р



Рисунка Р.1.21 – Молоткова дробарка

ДОДОТОК С



Рисунка С.1.22 – Молоткова дробарка

ДОДОТОК Т

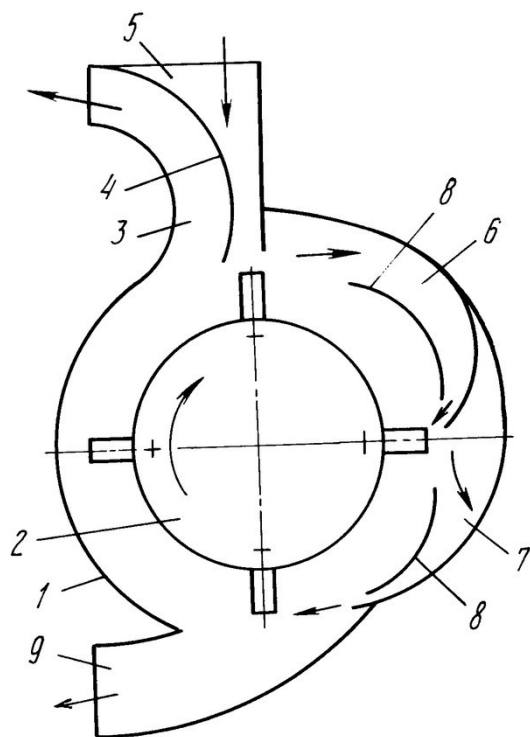


Рисунок Т.1.23 – Молоткова дробарка