

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка конструкції побутового кульового млина для подрібнення сировини

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Спеціалізація «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 22.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТм-21-1


Підпис

Половняк Д.Я.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

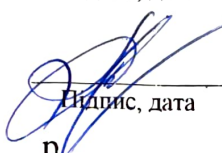
Нормоконтролер


Підпис, дата

Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

19

12

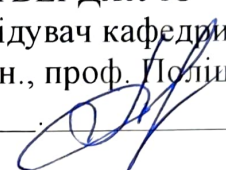
202

р.

Хмельницький 2022

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень магістр
Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
Шифр і назва
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Шифр і назва
Спеціалізація _____
Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри МАЕЕС
д.т.н., проф. Поліщук О.С.
 _____ 2022р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Половняк Дмитро Ярославович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції побутового кульового млина для подрібнення сировини

керівник роботи д.т.н., проф. Поліщук О.С.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від _____ 202__ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики машин-аналогів та властивості матеріалів, що подрібнюються на них

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції побутового кульового млина. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Класифікація основних типів млинів. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Барабанні млини. Документ оглядовий (A1). Аркуш 3. Побутовий кульовий млин. Схема електрична (A1). Аркуш 4. Побутовий кульовий млин. Схема кінематична (A1). Аркуш 5. Побутовий кульовий млин. Складальне креслення (A1). Аркуш 6. Барабан. Складальне креслення (A2)+Деталювання (A2). Аркуш 7. Побутовий кульовий млин. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 8. Елементи кульового млина. Результати розрахунків (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	до 30.10.22р.	
2. Розробка конструкції побутового кульового млина	до 20.10.22р.	
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції	до 5.12.22р.	
4. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент


Підпис

Д.Я. Половняк
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

О.С. Поліщук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Половняк Дмитро Ярославович

2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції побутового кульового млина для подрібнення сировини

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 76

5. Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції побутового кульового млина. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції. Висновки. Перелік джерел посилання.

Підпис студента 

" 19 " 12 2022 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від "24" 12 2023 р.

Оцінка проекту ЕК розрах 4,5/В

Рекомендації ЕК вироба з млина у виробництво

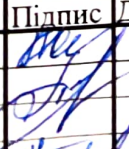
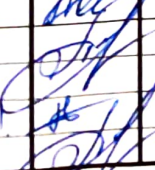


Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

" 24 " 12 2022 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи	8
1.1 Загальні відомості про механічні процеси	8
1.2 Процеси подрібнення. Фізико-механічні властивості матеріалів	10
1.3 Теоретичні основи подрібнення	13
1.4 Класифікація машин для подрібнення матеріалів	15
1.5 Устаткування для подрібнення матеріалів	22
1.6 Задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі	40
1.7 Висновки до розділу	41
2 Розробка конструкції побутового кульового млина	42
2.1 Вимоги до проектування барабанних млинів	42
2.2 Вибір варіанту розташування барабану	45
2.3 Розробка кінематичної схеми кульового млина	46
2.4 Розробка конструкції побутового кульового млина	48
2.5 Розробка електричної схеми побутового кульового млина	50
2.6 Висновки до розділу	54
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції	55
3.1 Розрахунок основних параметрів вузла барабану установки	55
3.2 Розрахунок потужності обертання барабану та вибір електричного двигуна	61
3.3 Розрахунок геометричних розмірів млина	63
3.4 Розрахунок діаметрів валів	65
3.5 Вибір підшипників	71

MPMA22.00.00.000 ПЗ				
	Літера	Арквш	Арквшів	
Літера		4		
Арквш	ХНУ гр.ЕТМ-21-1			
Арквшів				
Ідентифікатор	№докум.	Підпис	Дата	
Ідентифікатор	Половняк			
Перевір.	Поліщук			
Контр.	Мундик С.І.			
Затвер.	Поліщук			
Розробка конструкції побутового кульового млина для подрібнення сировини				

3.6	Висновки до розділу	71
	Висновки	72
	Перелік джерел посилання	73
	Додаток А	76

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Технологічні процеси подрібнення матеріалів широко застосовуються в різних галузях промисловості, зокрема в: гірничодобувній, хімічній, харчовій, легкій тощо. Темпи розвитку різних галузей промисловості вимагають модернізації та удосконалення конструкцій машин для подрібнення, підвищення їх надійності та працездатності. Крім того на сьогодні, гостро стоїть проблема зниження собівартості готової продукції, підвищення її якості та збільшення рентабельності виготовлення. Така проблема може бути вирішена шляхом широкого впровадження новітньої техніки і підвищення ефективності застосування вже діючого обладнання.

Потрібна інтенсифікація операції подрібнення може бути досягнута тільки на основі глибоких знань в області як принципу дії та конструкції обладнання, що використовується, так і особливостей його експлуатації.

Потреба підвищення якості виробів та матеріалів галузевого машинобудування зумовлює високі вимоги до обладнання підготовчих операцій. Однією з таких операцій є подрібнення матеріалів, яку широко, як вже зазначалося, використовують в галузевому машинобудуванні, так як використання подрібнених твердих тіл дозволяє значно прискорити процеси в матеріалах, що використовуються для отримання деталей для виготовлення нових машин. Такі процеси проходять швидше завдяки збільшенню вільної поверхні подрібнених твердих часток.

Вибір раціональної конструкції машини для подрібнення матеріалів ґрунтується на аналізі властивостей матеріалу як самого об'єкта подрібнення з врахуванням розмірів матеріалу, що подрібнюється та вимог щодо розміру кінцевого подрібненого матеріалу.

До основних фізико-механічних властивостей початкового матеріалу, що буде піддаватися подрібненню належать крихкість, міцність, абразивність. Потрібно також звернути увагу на призначення дробарок і млинів, а також на основні їхні властивості. Крім того, потрібно вивчити специфічні особливості різних схем

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

організації виконання процесу подрібнення; вивчити доцільність застосування попереднього і проміжного сортування матеріалів для подальшого подрібнення.

У зв'язку з великою енергоємністю самого процесу подрібнення потрібно ознайомитися з основними енергетичними гіпотезами подрібнення.

На виробничих підприємствах знайшли застосування барабанні млини. При ознайомленні з принципом дії млинів потрібно вивчити вплив режиму руху тіл для помолу у барабані на ефективність помелу. Необхідно навчитися правильно вибирати форму тіл для виконання операції помолу, їхню вагу та розміри.

Саме тому, метою магістерської роботи є розробка конструкції кульового млина та його практичне застосування для досліджень у процесі подрібнення матеріалів.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ТЕМАТИКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Загальні відомості про механічні процеси

Механічні процеси є невід'ємною частиною в технологічних схемах виробництва різних видів продукції. В різних технологіях виникає потреба у механічному подрібненні твердих матеріалів з подальшою їх класифікацією за розмірами, у пресуванні матеріалів. Під час виконання операції подрібнення збільшується поверхня матеріалу, що обробляється, створюються передумови для інтенсифікації теплових, біохімічних і масообмінних процесів. Механічні процеси потребують створення відповідних апаратів [1].

Процес подрібнення твердих матеріалів умовно поділяють на:

- помел;
- дроблення.

Принципової різниці за фізичною суттю процесу між ними не існує.

Подрібнення - це процес руйнування твердого матеріалу під дією прикладених зовнішніх сил [21].

Умовно вважають, що після дроблення виникають куски матеріалу більше ніж 5мм. Тонке дроблення твердого матеріалу (менше ніж 5мм) називають помелом.

Процеси дроблення і подрібнення знайшли широке використання у борошно-круп'яному, цукровому, хлібопекарському, спиртовому, м'ясопереробному, пивоварному, крохмале-патоковому, консервному та інших виробництвах.

Фізико-механічні властивості матеріалу, його вид і ступінь подрібнення визначають вибір способу дроблення. Залежно від характеру зовнішніх механічних сил матеріал можна подрібнювати [21]:

- роздавлюванням;
- розколюванням;
- розламуванням;

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- стиранням;
- за допомогою удару;
- розриву;
- згинання.

При грубому і середньому дробленні найчастіше застосовують спосіб роздавлювання, при тонкому - стирання. Для твердих матеріалів доцільнішим є розколювання та ударне навантаження, для крихких - роздавлювання та удар, для в'язких - стирання. В процесі дроблення часто можуть комбінуватися різні способи, наприклад: стирання і роздавлювання; розтирання та ударне навантаження.

Процес утворення в тілах нових поверхонь, що виникають під дією внутрішніх напружень або зовнішніх сил називають руйнуванням.

При частковому руйнуванні у твердих тілах виникають тріщини, які можуть змінити їхні структурно-механічні характеристики. Процес подрібнення матеріалу є штучним повним руйнуванням тіла, при якому воно розділяється на частини.

Руйнування матеріалу під дією зовнішніх сил може відбуватися за наявності однієї з умов [21]:

- локальне перенапруження поверхневих мікрооб'ємів у місцях прикладання навантажень;
- розвиток у матеріалі значних пружних і пластичних деформацій;
- наявність порожнин, неоднорідностей та інших дефектів у структурі самого тіла.

Такі механічні характеристики міцність, пружність, текучість, пластичність визначають поведінку твердого тіла при зовнішній дії на нього. За умови, що навантаження перевищує границю пружності, матеріал піддається пластичній деформації, а при досягненні границі текучості починає текти. При досягненні границі міцності матеріал починає руйнуватися, причому зі зменшенням розміру тіла границя міцності зростає у зв'язку з тим, що зменшується кількість дефектів у матеріалі.

В основному крихке і пластичне руйнування виникають у процесі дроблення. Для крихкого руйнування характерна незначна деформація матеріалу, причо-

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

му після руйнування не виникає залишкових деформацій. Прикладена енергія витрачається на подолання сил взаємного зчеплення часток тіла, тобто на утворення нової поверхні. Під час руйнування пластичних матеріалів енергія витрачається як на розривання структурних зв'язків, так і на значні пластичні деформації. Причому енергія, яка витрачається на деформацію, перетворюється ще в теплоту. Руйнування крихких матеріалів потребує значно менших затрат енергії порівняно з пластичними. Оскільки пластичність і крихкість ряду матеріалів визначаються їхнім фізичним станом, з енергетичного погляду доцільніше подрібнювати матеріал у крихкому стані.

На сьогодні не існує єдиної теорії руйнування. Для різних умов руйнування та фізичних станів тіла створені і використовуються різноманітні моделі руйнування. Немає також загального теоретичного опису процесу подрібнення харчових продуктів. Існуючі теорії подрібнення орієнтовані в основному на визначення витрат енергії, оскільки на здійснення процесу потрібні значні її витрати [21].

1.2 Процеси подрібнення. Фізико-механічні властивості матеріалів

Подрібненням називають процес руйнування шматків твердого матеріалу при критичних внутрішніх напруженнях, які виникають у результаті будь-якого навантаження та перевищують відповідну границю міцності. Напруження в матеріалі можуть виникати при дії на тіло механічних навантажень, температурних впливів, ультразвукових коливань та інше. Найбільш широкого застосування в сучасному виробництві знайшли механічні способи подрібнення [2].

Процес подрібнення розділяють на дроблення та помел, а машини, які використовують для цієї мети, називаються дробарками та млинами.

Залежно від розмірів частинок продукту розрізняють наступні види подрібнення:

- дроблення велике ($d_k = 100 \dots 350$ мм);
- дроблення середнє ($d_k = 40 \dots 100$ мм);

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- дроблення дрібне ($d_k = 5 \dots 40$ мм);
- помел грубий ($d_k = 0,1 \dots 5$ мм);
- помел середній ($d_k = 0,05 \dots 0,1$ мм);
- помел тонкий ($d_k = 0,001 \dots 0,05$ мм);
- помел надтонкий ($d_k < 0,001$ мм).

Основною характеристикою процесу подрібнення виступає ступінь подрібнення, що визначається співвідношенням середньозважених розмірів частинок матеріалу до та після подрібнення:

$$i = \frac{d_n}{d_k} . \quad (1.1)$$

Ступінь подрібнення відображає технологію і визначає параметри подрібнення.

Подрібнення матеріалу від початкової до кінцевої крупності з метою забезпечення ефективності здійснюють, як правило, у декілька прийомів, з послідовним переходом від великого дроблення до більш дрібного і до помелу з постадійним розподілом матеріалу за певними класами. Отже доцільним є процес подрібнення, що проводиться послідовно на декількох подрібнювачах. Кожний окремий подрібнювач виконує частину від загального процесу, ще так звану стадію подрібнення [1].

Число стадій подрібнення визначають потрібним ступенем подрібнення. Наприклад, якщо у початковому твердому матеріалі вміщуються шматки розміром до 1200 мм, а кінцевий продукт повинен вміщувати частинки з максимальним розміром до 40 мм, то загальний ступінь подрібнення, виходячи з формули (1.1) буде рівним $i = 1200/40 = 30$.

Ступінь подрібнення, який може досягатися на одній машині, для більшості видів дробильного обладнання лежить в межах 3...7. Тому для забезпечення $i = 30$ потрібно застосовувати декілька стадій дроблення, наприклад: $i_1 = 3$,

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

$i_2 = 3, i_1 = 4$. Тоді $i_0 = i_1 i_2 i_3 = 3 \cdot 3 \cdot 4 = 36$, тобто потрібно мінімум три стадії виконання операції подрібнення.

Але збільшення стадій дроблення веде до підвищення капітальних витрат на будівництво заводів, переподроблення матеріалу та до збільшення вартості експлуатації виробництва. Тому за умови забезпечення мінімального числа стадій дроблення потрібно здійснювати вибір схеми подрібнення. Проте у ряді випадків тільки застосування багатостадійних схем (чотирьох- і п'яти стадійних) забезпечує отримання кінцевого продукту високої якості і необхідного об'єму.

Енергозатрати, навантаження на елементи машини для подрібнень і якість продукту залежать від міцності, твердості, пружності, крихкості, абразивності та густини твердих матеріалів.

Міцність – це властивість твердого матеріалу чинити опір руйнуванню при появі внутрішніх напружень, які виникають в результаті прикладеного навантаження. Як правило, міцність твердих матеріалів оцінюють межею міцності при стисканні σ_c . За даною величиною σ_c матеріали, що подрібнюються поділяють на:

- м'які ($\sigma_c < 80$ МПа),
- середньої міцності ($\sigma_c = 80 \dots 150$ МПа),
- міцні ($\sigma_c = 150 \dots 250$ МПа),
- дуже міцні ($\sigma_c > 250$ МПа) [2].

Міцність твердих матеріалів при інших видах деформацій істотно нижча. Наприклад, границя міцності вапняку, граніту складає при розтягуванні 2...5 %, при згинанні - 8...10 %, при зсувові - 10...15 % границі міцності при стисканні.

Крихкість – це властивість твердого матеріалу руйнуватися без помітних пластичних деформацій. Величина крихкості визначається на спеціальному експериментальному копрі числом ударів мірного вантажу. За числом ударів, які витримують зразки, тверді матеріали поділяються на:

- дуже крихкі (до 2);
- крихкі (2...5);

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

- в'язкі (5...10);
- дуже в'язкі (більше 10).

Абразивність – це здатність матеріалу, що переробляється операцією подрібнення, зношувати робочі органи машини. Її оцінюють у грамах зношування еталонних бил, віднесених до однієї тони переробленого подрібненого матеріалу.

1.3 Теоретичні основи подрібнення

Подрібнення – це процес поділу твердого тіла на частини, коли шляхом прикладення зовнішніх сил долаються сили молекулярного тяжіння в самому твердому тілі, яке подрібнюється та утворюються нові поверхні.

На існуючих на сьогодні машинах можна проводити різноманітні процеси подрібнення твердих тіл. Це може бути подрібнення шматків матеріалу об'ємом до 2 м^3 , або надтонке подрібнення, яке дозволяє отримати продукт з частинками розміром до $0,1 \text{ мкм}$.

Одним з найголовніших техніко-економічних показників, що характеризує процес подрібнення твердих матеріалів є витрата енергії.

Різними вченими робилися спроби оцінювати витрату енергії на подрібнення, виходячи з існуючих теорій подрібнення.

В основі поверхневої теорії, запропонованої П. Риттингером, лежить те, що, що при подрібненні робота затрачається на подолання сил молекулярного тяжіння по поверхнях руйнування матеріалу, тобто по поверхнях, що знов утворюються при подрібненні. З цього витікає те, що робота, яка потрібна для виконання операції подрібнення, пропорційна новій поверхні матеріалу, що руйнується [2].

Так як питома поверхня шматків (часток) матеріалу зворотно-пропорційна їхнім лінійним розмірам, то питома робота подрібнення шматків матеріалу (робота необхідна на подрібнення одиниці об'єму шматкового матеріалу) від розмірів d_n до розмірів d_k може бути знайдена із співвідношення:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$$A = K(1/d_k - 1/d_n), \quad (1.2)$$

де K – коефіцієнт, що характеризує затрати роботи на одиницю поверхні матеріалу, що утворюється при подрібненні.

Даний коефіцієнт залежить від властивостей матеріалу, що подрібнюється та визначається експериментальним шляхом.

Об'ємна теорія запропонована В.Л. Кіриповим (у 1874 році) та пізніше (у 1885 році) Ф. Кіком, виходить з того, що при подрібненні матеріалу робота витрачається на деформацію матеріалу, що передуює його руйнуванню. При цьому робота витрачається до досягнення руйнуючої граничної деформації. Звідси витікає, що робота, яка потрібна для виконання операції подрібнення, пропорційна зменшенню об'єму шматків матеріалу перед їхнім зруйнуванням.

Виходячи із закону Гука, роботу деформації матеріалу при стисканні можна визначити за наступним співвідношенням:

$$A = Q_{cm} \Delta V / (2E), \quad (1.3)$$

де E – модуль пружності матеріалу;

ΔV - зменшення об'єму шматків матеріалу в результаті їхньої деформації перед руйнуванням.

Формула (1.3) не є точною, так як руйнування матеріалів відбувається при напруженнях, що рівні границі міцності при стисканні тіла. Згідно об'ємній теорії, витрати енергії на подрібнення пропорційні об'єму тіла, отож, відношення робіт A_1 та A_2 , що були затрачені на подрібнення двох тіл, які мають об'єми V_1 та V_2 , дорівнюють:

$$A_1 / A_2 = V_1 / V_2. \quad (1.4)$$

Робота це є добуток сили P на деформацію Δl , яка, згідно закону Гука, пропорційна лінійному розміру тіла, що руйнується l , тобто:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = aPl, \quad (1.5)$$

де a – коефіцієнт пропорційності.

Об'єм тіла пропорційний кубу його лінійних розмірів, тобто:

$$V = \epsilon l^3, \quad (1.6)$$

де ϵ - коефіцієнт пропорційності.

Враховуючи ці співвідношення, вираз (1.4) можна записати в наступним чином:

$$\frac{aP_1 l_1}{aP_2 l_2} = \frac{Bl_1^3}{Bl_2^3} \quad \text{чи} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{l_1^2}{l_2^2} \quad (1.7)$$

Таким чином, згідно з об'ємною теорією, сили подрібнення пропорційні квадратам подібних лінійних розмірів чи поверхням тіл, а виконана робота дорівнює об'ємам цих тіл.

Теорія П.А. Ребіндера, виходить з того, що енергія, яка тратиться на подрібнення матеріалу, буде визначатися сумою робіт, що затрачаються на деформацію тіл, які піддаються операції подрібнення та на утворення нових поверхонь.

Приведені теорії не розкривають у повній мірі усіх явищ, що проходять при виконанні процесу подрібнення, тому практичного використання при створенні інженерних методів розрахунку подрібнювачів не знайшла жодна з них.

1.4 Класифікація машин для подрібнення матеріалів

В залежності від призначення та принципу дії в устаткуванні для подрібнення можуть бути використані різноманітні види навантажень (рис. 1.1) [2]:

- роздавлювання (стиснення шматка),
- злам (вигин),
- стирання,

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теріалів переважно слід виконувати розколюванням, середнє та дрібне слід здійснювати ударом. У промисловості дроблення матеріалів проводять, зазвичай, сухим методом. Застосовують рідше мокре дроблення, коли в пристрої для завантаження машин розбризкують воду з метою зменшення пилоутворення [2].

Помел твердих матеріалів проводять ударом та стиранням.

Також як і дроблення, помел може бути мокрим та сухим. Мокрий помел порівняно із сухим, екологічно більш досконалий і є більш продуктивним. Проте мокрий помел може застосовуватися у випадку, коли допускається контакт матеріалу, що подрібнюється із водою.

За способом дії на матеріал, що подрібнюється розрізняють дробарки:

- що руйнують матеріал стисканням (щоківі, конусні та валкові);
- що руйнують матеріал ударом (роторні та молоткові).

В щоківих дробарках дроблення матеріалу відбувається в основному роздавлюванням між щоками при періодичному їхньому зближенні у камері. При відході рухомої щоки від нерухомої подрібнений матеріал випадає із подрібнювача. Одночасно при стисканні шматків має місце їхнє відносне переміщення, внаслідок чого шматки піддаються стиранню. Подрібнення шматків матеріалу при рифлених робочих поверхнях щок може супроводжуватися також розколюванням та зламом.

При обкачуванні рухомого конуса всередині нерухомого в конусних дробарках руйнування матеріалу проводиться роздавлюванням, зламом та стиранням. В цьому випадку відбувається періодичне зближення і відхід від робочих поверхонь конусів. Їх принцип дії подібний до щоківих дробарок.

Матеріал подрібнюється в просторі, що звужується, між валками, які обертаються, назустріч один одному шляхом роздавлювання у валкових дробарках. Застосування рифлених та зубчатих валків веде до того, що матеріал подрібнюється також розколюванням і зламом.

В молоткових та роторних дробарках ударної дії дроблення матеріалу проходить за рахунок удару по шматках обертальних бил чи молотків, а також подальшого зіткнення відкинутих шматків з відбивними елементами машин.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В барабанних кульових млинах матеріал подрібнюється в барабані, що обертається з певною частотою, шляхом удару молотильних тіл, які падають з певної висоти. Крім того, при відносному русі молотильних тіл та часток матеріалу відбувається стирання останніх.

У вібраційних млинах подрібнення матеріалу проходить в барабані, що заповнений молотильними тілами, стиранням та ударом при високочастотних коливаннях корпусу.

У струминних млинах подрібнення матеріалу здійснюється стиранням при зіткненні частинок між собою та зі стінами робочої камери при хаотичному русі часток в газовому потоці, що має високу турбулентність.

Машини для подрібнення розділяються на:

- дробарки;
- млини.

За конструктивними ознаками дробарки поділяються на:

- щоківі;
- валкові;
- конусні;
- ударної дії (молоткові та роторні).

Пальцеві подрібнювачі та бігуни займають проміжне положення між дробарками та млинами, оскільки можна їх застосовувати як для дрібного дроблення, так і для великого помелу.

Млини поділяють на:

- барабанні (тихохідні),
- маятникові,
- роликові,
- кільцеві та інші (середньохідні),
- молоткові,
- шахтні (ударні),
- вертикальні,
- вібраційні,

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- струминні.

Розглянемо іншу класифікацію, що описується в технічній літературі [3].

Машины для подрібнення поділяються на:

- дробарки;
- подрібнювачі (млини).

Дробарками називають машини для середнього та крупного подрібнення.

Млинами називають машини для мілкового, тонкого та колоїдного (надтонкого) подрібнення.

Такий розподіл в значній мірі є умовним, так як окремі типи подрібнювачів та млинів використовуються для проведення суміжних видів подрібнення [1].

Основні машини для подрібнення за конструктивними ознаками розділяються на наступні типи:

- шоківі дробарки;
- валкові дробарки;
- вібраційні подрібнювачі (млини);
- конусні дробарки;
- молоткові дробарки;
- бігуни;
- струменеві подрібнювачі (млини);
- кульові та стержневі барабанні подрібнювачі (млини);
- пальцеві ударні подрібнювачі та дисмембратори);
- колоїдні подрібнювачі (млини).

Більш детально розглянемо класифікацію основних типів млинів, яка показана на рис. 1.2 (лист [МРМА22.00.00.000ДО1]) [3].

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

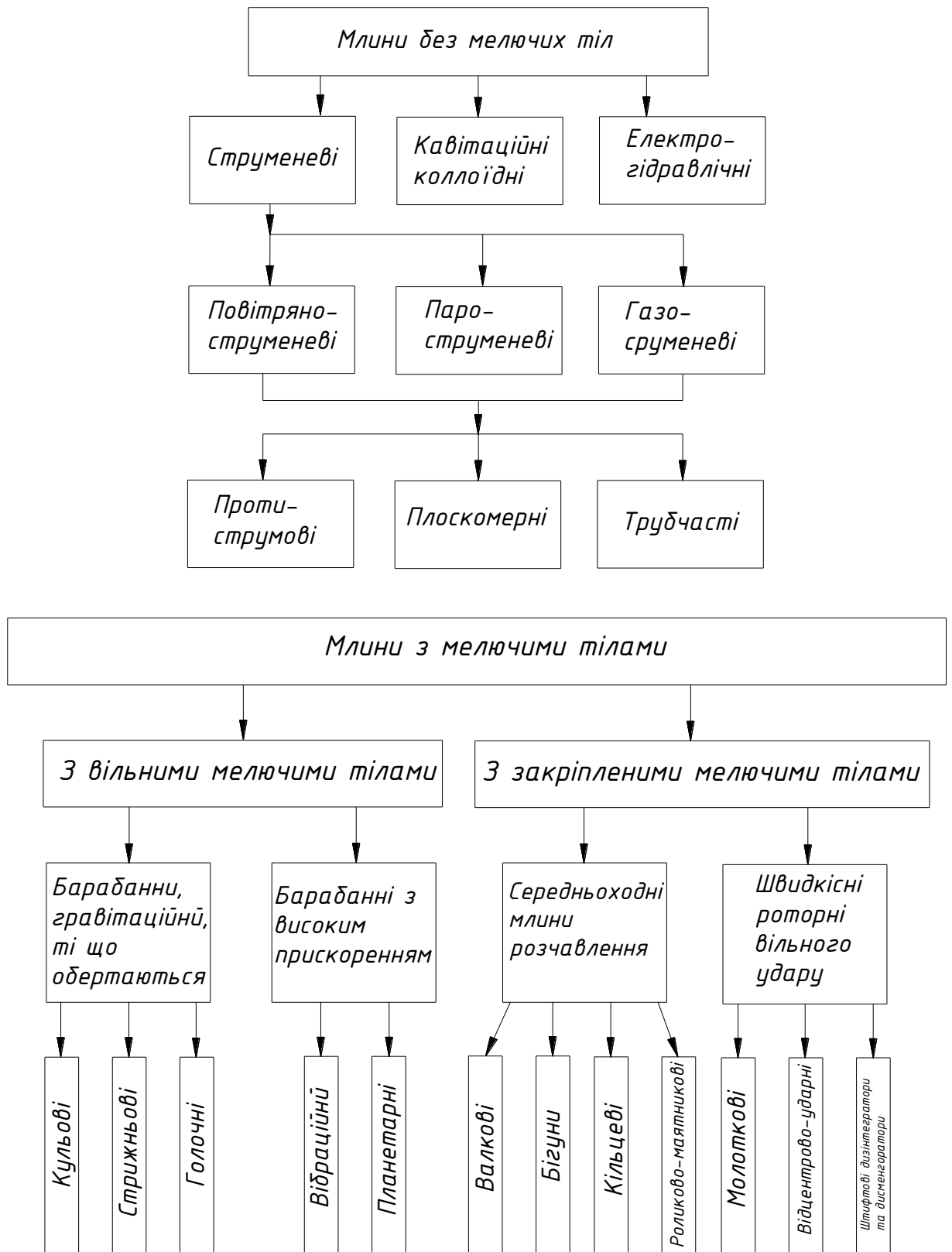


Рисунок 1.2 - Класифікація основних типів млинів

Виходячи із даної класифікації за способом подрібнення всі машини можна розділити на наступні основні групи:

- розколюючої та розламуючої дії;
- розчавлюючої дії;
- стираючо-розчавлюючої дії;
- ударної дії;
- ударно-зтираючої дії;
- колоїдні подрібнювачі.

В основу даної класифікації покладено основний спосіб, за допомогою якого подрібнюється матеріал у подрібнювачі. При потребі подрібнювати той чи інший матеріал до часток необхідного розміру першочергово необхідно отримати відповідь на запитання: яким способом подрібнення можна досягти необхідного результату, а потім вже підбирати тип та розмір машини для подрібнення. З даної точки зору приведена класифікація подрібнювачів є найбільш зручною. Звісно, що поряд з «головним способом» завжди є інші способи, другорядні. Прикладом може бути те що, у розчавлюючому чи ударному подрібнювачі реалізується також і стирання, але воно не є основним способом роботи машини, а появляється довільно і важко піддається кількісному оцінюванню. Відповідно, і в подрібнювачах стираючо-розчавлюючої дії можна виявити випадки подрібнення ударом. Це може виникати при раптових скачках катків, але такі явища проходять поряд і не є характерними для зазначеної групи подрібнювачів.

В технічній літературі доволі часто зустрічається класифікація подрібнювачів за величиною часток, що отримуються на виході. У відповідності із зазначеною класифікацією подрібнювачі поділяються на дробарки мілкою, середнього та великого подрібнення і млини тонкого і колоїдного подрібнення.

Недоліками зазначеної класифікації є відсутність вказівок на метод подрібнення, який лежить в основі роботи даної машини, а також те, що дробарку одного і того ж типу залежно від її розміру можна віднести до дробарок і мілкою, і середнього, і великого дроблення, тобто до різних класів.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.5 Устаткування для подрібнення матеріалів

1.5.1 Дробарки, що руйнують матеріал стисканням [2]

1.5.1.1 Шокові дробарки

Шокові дробарки використовують для середнього та великого дроблення різних матеріалів в різних галузях народного господарства. Вони здатні руйнувати матеріали практично всіх різновидів. Головним параметром шокових дробарок є розмір (ширина та довжина, $B \times L$) приймаючого отвору камери дроблення, що створюється рухомою та нерухомою щоками. Промисловість України випускає дробарки з розмірами приймаючого отвору $B \times L$ (мм): 160x250, 250x400, 250x900, 400x900, 600x900, 900x1200, 1200x1500, 1500x2100, 2100x2500.

За характером руху основного робочого органу (рухомої щоки) здійснюють класифікацію шокових дробарок, оскільки саме це визначає найважливіші техніко-експлуатаційні параметри такого устаткування. За кінематичними принциповими схемами розрізняють дробарки з простим та зі складним рухом щоки. У дробарках з простим рухом щоки передається кінематичним ланцюгом рух від кривошипа до рухомої щоки. В цьому випадку траєкторія руху рухомої щоки може представляти собою або прямі лінії або частини дуги кола. В дробарках зі складним рухом щоки кривошип та рухома щока утворюють кінематичну пару. В даному випадку траєкторії руху точок рухомої щоки представляють собою замкнуті криві, найчастіше еліпси.

У дробарках з простим (ЩДП) рухом щоки 1 (рис.1.3, а) остання підвішена на вісі 2. Щока здійснює коливальні рухи по дузі кола, яку їй надає ексцентриковий обертовий вал 3, через шатун 4 та розпірні плити 5.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

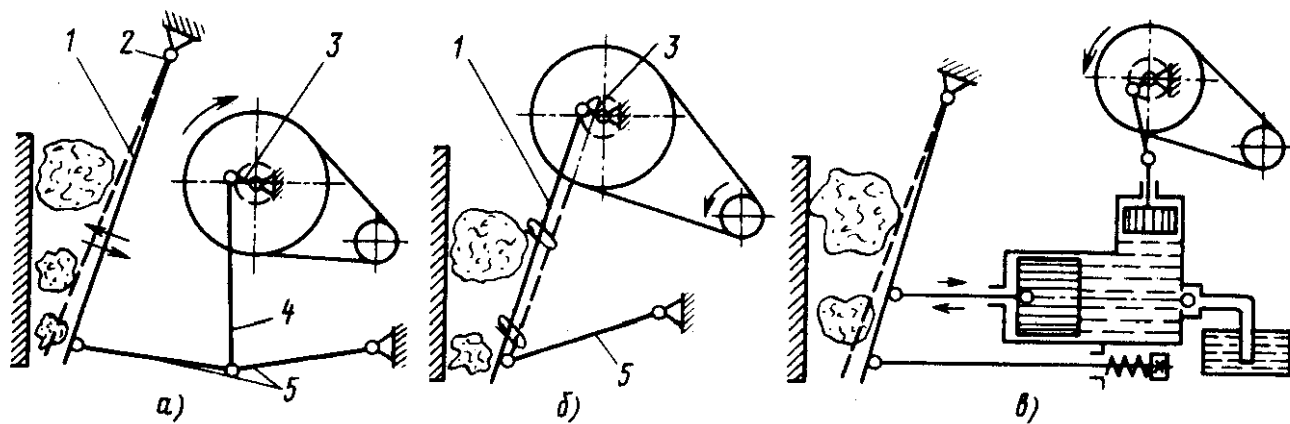


Рисунок 1.3 - Принципові схеми щоківних дробарок

Матеріал подрібнюється при зближенні щок, а при віддаленні їх одна від одної шматки матеріалу опускаються вниз та випадають з камери, якщо їхні розміри є меншими за ширину вихідної щілини. В подальшому цикл повторюється.

У ЩДП матеріал дробиться роздавлюванням та частково зламом і розколюванням, оскільки на обох щоках встановлені плити з рифленням у подовжньому напрямку для дроблення.

У дробарках зі складним (ЩДС) рухом щоки важільний механізм має простішу схему (рис. 1.3, б). Ексцентриковий вал 3 з'єднаний із шатуном, що є рухомою щокою 1 дробарки. На розпірну плиту 5 шарнірно спирається нижнім кінцем щока. Вона здійснює складний рух та складові переміщення точок її поверхні будуть напрямлені як по нормалі до поверхні щоки, так і вздовж неї. Траєкторії таких точок за формою нагадують еліпси. Внаслідок цього в ЩДС матеріал подрібнюється як роздавлюванням, так і стиранням. Це полегшує процес дроблення в'язких матеріалів.

Кінематична схема ЩДП дозволяє створювати відносно великі навантаження на матеріал, що подрібнюється, ніж у ЩДС, при однакових обертових моментах на приводних валах. Це є важливим при дробленні великих шматків міцних матеріалів. Недоліком ЩДП (рис. 1.3, а) є малий хід стискання у верхній частині камери дроблення. Для ЩДС відбувається значне зношення дробильних плит. Проте конструкція ЩДС у цілому є більш простою та менш металоємною порівняно з ЩДП.

						МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			23

В залежності від конструкції механізму, який приводить у рух щоку, розрізняють дробарки з кулачковими і важільними механізмами, а також з гідравлічним передаючим механізмом (рис. 1.3, в).

На рис.1.4 приведено конструкцію дробарки для великого дроблення з простим рухом рухомої щоки. Рухома щока 3, вісь 4, яка встановлена в підшипниках ковзання, що закріплені на бічних стінках станини 1, набуває коливальних рухів через розпірні плити 10 і 11 від шатуна 6, що підвішений на ексцентричній частині вала 5, що приводиться в обертання від електричного двигуна через клинопасову передачу. Робочі поверхні щок футерують змінними дробильними плитами 12 і 13, і виготовляють зі сталі, що є зносостійкою. Бічні стіни камери для дроблення також футеровані змінними плитами 2. Як правило, робочу поверхню дробильної плити, виготовляють рифленою, а для первинного дроблення гладкою. Умови захоплення шматків та гранулометричний склад матеріалу залежать від подовжнього профілю плит залежать.

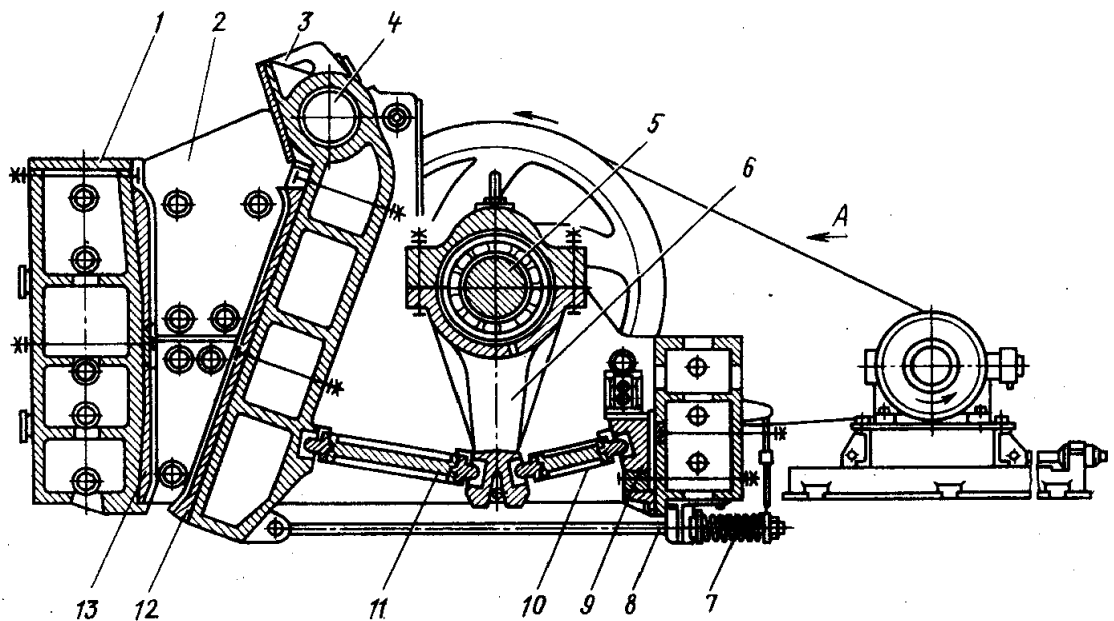


Рисунок 1.4 – Щокова дробарка з простим рухом щоки

Циклічний характер роботи щоккових дробарок (максимальне навантаження при зближенні щок та холостий хід при їх розходженні) створює нерівномірне навантаження на двигун. На приводному валу для вирівнювання навантаження вста-

										Арк.
										24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА22.00.00.000 ПЗ					

новлюють маховик та шків-маховик. Маховик «акумулює» енергію при холостому ході та віддає її при ході стиснення.

У процесі експлуатації з'являється потреба регулювати ширину вихідної щілини камери дроблення. У великих дробарках з цією метою встановлюють різні за товщиною прокладки між упором 9 та задньою стіною станини. Гарантоване замикання ланок механізму приводу рухомої щоки відбувається пружиною 7 та тягою 8.

В конструкціях теперішніх дробарок передбачається встановлення пристроїв, які можуть самі відновлюватися, після спрацьовування, оберігають елементи машини від поломок при потраплянні до них предметів, що не подрібнюються. На практиці використовуються наступні варіанти запобіжних пристроїв [2]:

- пружина в поєднанні з розпірною плитою;
- пружина в поєднанні з важелем та розпірною плитою і т.п.;
- підпружинений важіль, що шарнірно з'єднаний з рухомою щокою.

На рис.1.5 приведено схему запобіжного пристрою, що суміщений з розпірною плитою. Жорсткість пружини повинна забезпечити роботу дробарки при нормальних навантаженнях. При потраплянні до машини предметів, що не подрібнюються пружини стискаються на величину, потрібну для провертання ексцентрикового вала при рухомій щоці, що зупинилася.

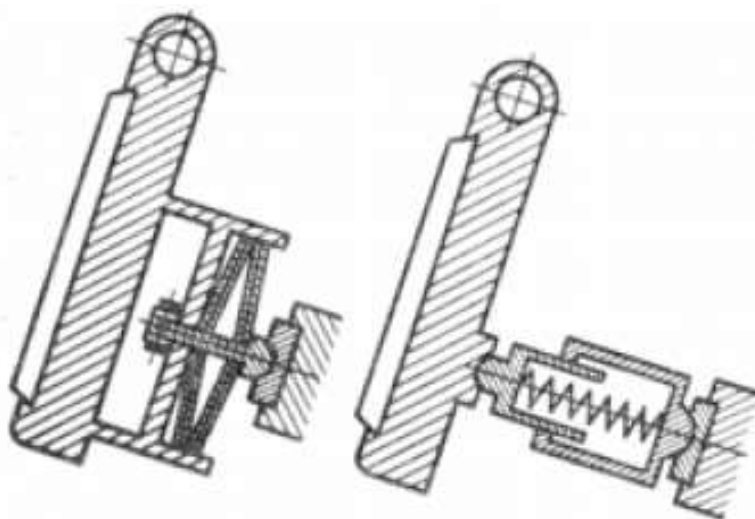


Рисунок 1.5 – Схема пружинного запобіжного пристрою

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.5.1.2 Конусні дробарки

На всіх стадіях подрібнення при переробці найрізноманітніших матеріалів як за крупністю матеріалу, що подрібнюється, так і за різноманітністю фізико-механічних властивостей застосовуються конусні дробарки. В даних машинах матеріал руйнується в камері, що створюється зовнішнім нерухомим і внутрішнім рухомим усіченими конусами. За технологічним призначенням такі машини поділяють на дробарки:

- дрібного (КДП) подрібнення (ступінь подрібнення i до 20 ... 50);
- середнього (КСП);
- великого подрібнення (КВП), забезпечуючи ступінь подрібнення $i=5 \dots 8$.

Головним параметром дробарок КВП є ширина приймаючого отвору, що представляє собою відстань між утворюючими бічними поверхнями конусів в зоні завантаження. Промисловість України випускає дробарки типу КВП із шириною приймаючого отвору 500, 900, 1200 і 1500 мм. Основним параметром дробарок типів КСП та КДП виступає діаметр нижньої основи рухомого конуса, що може дорівнювати 600, 900, 1200, 1750 і 2200 мм.

За конструктивною ознакою розрізняють дробарки з (рис.1.6):

- підвішеним валом,
- опорним товкачем,
- консольним валом.

Останню конструкцію використовують у машинах КСД та КДД.

У дробарках з підвішеним валом вал 3 конуса, що подрібнює 4 у верхній точці, яка збігається з точкою перетину вісей конусів, підвішений до опори 5, що сприймає радіальне та осьове навантаження. Нижній кінець валу розміщений в ексцентрику 2, опори якого також будуть сприймати радіальне навантаження дробильного конуса. Обертання ексцентрика відбувається через конічну зубчасту передачу 1.

У дробарці з опорним товкачем осьове навантаження конуса, що подрібнює з п'яти валу передається на товкач 6, а в подальшому на плунжер гідравлічного

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Робоча камера в даній машині створюється зовнішньою поверхнею конуса для дроблення футерованого бронею 15 з високо марганцевистої сталі, і внутрішньою поверхнею нерухомої броні 14 регулюючого кільця з'єднується різьбою упорною з опорним кільцем 6. Для забезпечення правильної роботи різі під навантаженням осьовий люфт у ній вибирається при підтяганні регулюючого кільця колонками 12 з клинами. Клини спираються на кожух 7, встановлений на опорному кільці 6.

У верхній частині даного устаткування є герметичний пристрій для завантаження 9, встановлений на чотирьох стійках 11 та станині 4. Вихідний матеріал надходить до приймаючої коробки 10 пристрою для завантаження та висипається через патрубок на розподільчу плиту 8 конуса для дроблення.

При обертанні ексцентрика конуса для дроблення передається гіраційний рух. Завдячуючи коливанню розподільчої плити, забезпечується рівномірне по колу завантаження робочого простору. В результаті чого при зближенні конусів матеріал подрібнюється, а при їхній розбіжності вивантажується.

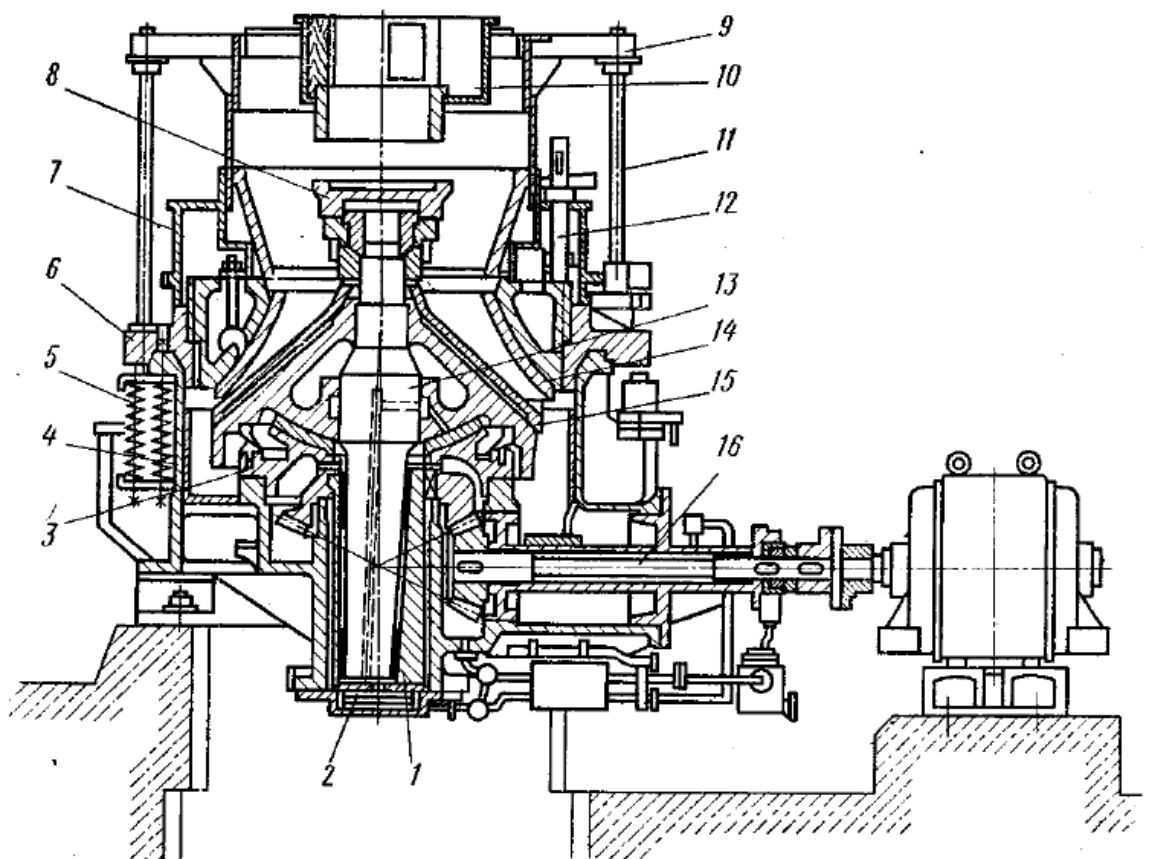


Рисунок 1.7 - Дробарка КДП з консольним валом

						МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			28

Характерною особливістю дробарок КСП та КДП є наявність паралельної зони у камері подрібнення, тобто дільниці, на якій зазор між твірними конусів є постійним. Таким чином забезпечується отримання однорідного продукту, що наближений за розмірами до зазору.

1.5.1.3 Валкові дробарки [2]

Для дрібного та середнього подрібнення матеріалів високої та середньої міцності, а також для подрібнення крихких та пластичних матеріалів використовують валкові дробарки. В таких машинах процес подрібнення здійснюється безперервно при затягуванні шматків матеріалу у звужувальний простір між паралельно розташованими валками, які обертаються назустріч один одному.

Валкові дробарки бувають одно-, двох-, трьох- та чотирьох валковими.

В залежності від типу поверхні валків розрізняють дробарки з:

- гладкими,
- рифленими,
- зубчастими валками.

Дробарки з гладкими та рифленими валками в більшості випадків використовуються для подрібнення матеріалів середньої міцності; дробарки із зубчастими валками застосовуються для матеріалів малої міцності. Розмір шматків продукту буде залежати як від розміру вихідної щілини між валками, так і від типу поверхні робочих органів.

Основними недоліками валкових дробарок є:

- порівняно невисока питома продуктивність;
- нерівномірне та інтенсивне зношування робочих поверхонь валків при подрібненні абразивних та міцних матеріалів.

Широке застосування валкових дробарок пояснюється тим, що вони найбільш пристосовані для переробки великої гами найпоширеніших матеріалів, що схильні до налипання або вміщують липкі включення. Під час роботи дробарок налиплий на поверхню валків матеріал зрізається шкребками для очищення.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Валкові дробарки характеризуються діаметром D та довжиною L валків, при цьому $L/D = 0,4 \dots 1,0$. Виготовляються двохвалкові дробарки ДГ з гладкими валками для дрібного та середнього, мокрого та сухого подрібнення матеріалів з границею міцності при стисканні до 350 МПа; двохвалкові дробарки ДР з рифленими валками для подрібнення матеріалів з границею міцності при стисканні до 250 МПа; двохвалкові дробарки ДГР з рифленими та гладкими валками; чотирьохвалкові дробарки Д4Г із гладкими валками для дрібного подрібнення.

Найбільш поширеною є двохвалкова дробарка. Устаткування з рифленими або гладкими валками (рис.1.8) складається зі станини 1, що має рамну конструкцію.

Валок 8 встановлений на підшипниках, що розміщені у роз'ємних корпусах 9. Корпуси 5 підшипників іншого валка встановлюються в напрямних 4 та можуть по них вздовж станини переміщатися. Регулювання ширини випускної щілини (зазору між валками) проходить за допомогою набору прокладок 10, які розміщуються між корпусами рухомих та нерухомих підшипників. Рухомий валок притискається до нерухомого за допомогою системи верхніх 6 нижніх тяг з пакетом пружин 3.

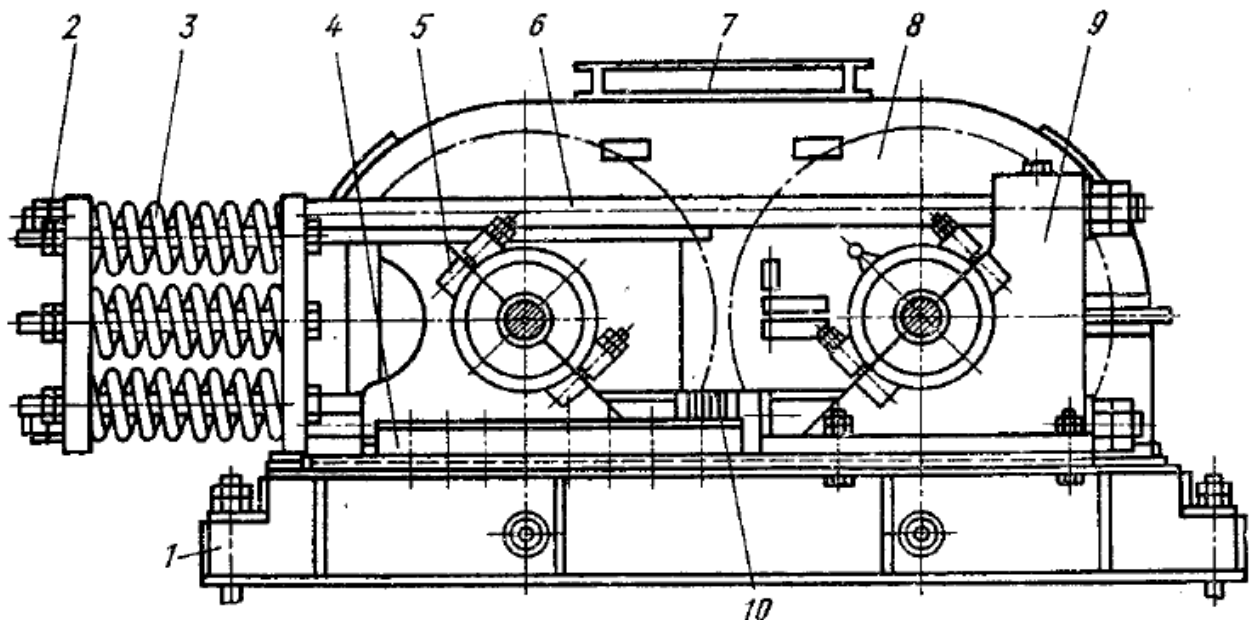


Рисунок 1.8 – Двохвалкова дробарка

									Арк.
									30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА22.00.00.000 ПЗ				

Попереднє натягування пружин, що створюється гайками 2, забезпечує сумарне зусилля на валки, забезпечуючи при цьому подрібнення матеріалу. При попаданні в устаткування предметів, що не подрібнюються пружини стискаються, валки, в свою чергу, розходяться та пропускають їх. Для запобігання запиленню валки для дроблення закриті кожухом з приймальною лійкою 7.

1.5.1.4 Бігуни

Для дрібного подрібнення (кінцевий розмір часток 3...8 мм) та грубого помелу (0,2...0,5 мм) вапна, глини та інших матеріалів використовуються бігуни. Крім цього, бігуни також можуть забезпечити гомогенізацію, розтирання, ущільнення матеріалу.

В бігунах масивні катки, які перекочуються по шару матеріалу, що знаходиться в піддоні, подрібнюють його операціями роздавлювання та стирання.

У бігунах може здійснюватися як мокрий так сухий помел матеріалів. Головним параметром бігунів є діаметр D та ширина самих b котків. Для мокрого помелу випускаються бігуни з розмірами $D \times b$ від 1200×300 до 1800×550 мм з катками масою від 2 до 7 т. Для сухого помелу виготовляють бігуни з $D \times b$ від 600×200 до 1800×450 мм.

Бігуни виготовляються з нерухомим піддоном, по якому перекочуються катки, і з піддоном, що обертається.

Робочими органами бігунів є масивні катки 1 і 2 (рис.1.9), які переміщуються в чаші з матеріалом, що подрібнюється.

Збільшення швидкості обертання інтенсифікує процес помелу матеріалу завдяки втомним явищам, що виникають в тілі. Бігуни мають менші енерговитрати порівняно з барабаними млинами. Мають також менше зношення робочих органів та компактність.

Бігуни мокрого помелу (вологість більше 15 %) з катками (рис.1.10), що обертаються, мають нижнє розташування привода, тобто нижче чаші для помелу. При обертанні вертикального вала 1 катки 5, що встановлені на підшипниках на

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водилах 6, перекочуються по піддону 4 та одночасно навколо власних осей обертаються.

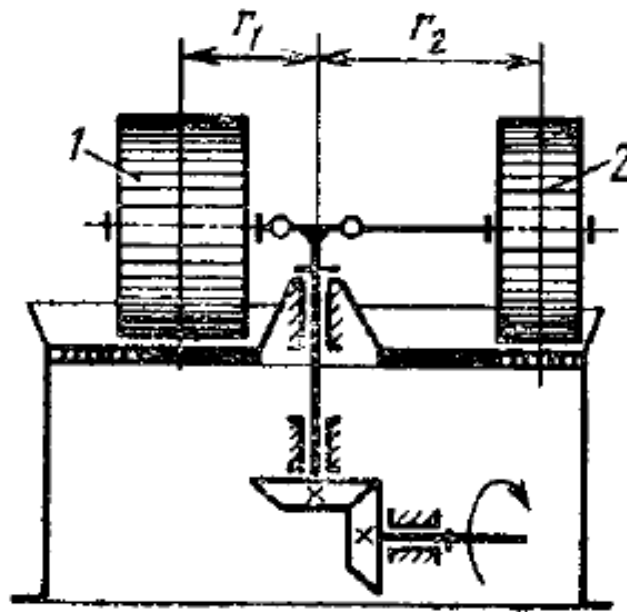


Рисунок 1.9 – Схема бігунів

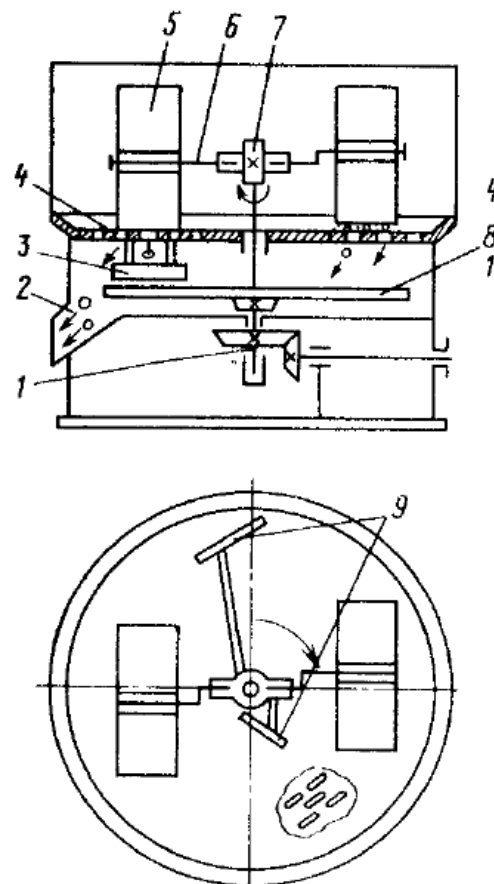


Рисунок 1.10 – Бігуни з валками, що обертаються

									Арк.
									32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА22.00.00.000 ПЗ				

Колінчасті водила, що шарнірно закріплені в цапфі 7, дозволяють каткам підійматися або опускатися в залежності від товщини шару матеріалу. Катки встановлюють на різних радіусах від центра піддона, щоб вони, в свою чергу, перекривали велику площу. Піддон вкладають плитами, які мають овальні отвори розміром від 6×30 до 12×40 мм. Матеріал, що подрібнений продавлюється крізь отвори в самому піддоні та потрапляє на тарілку, що обертається, 8, з якої скидається скребком 3 до лотка розвантаження 2. До валу 1 прикріплені поводки зі скребками 9, які очищають борти та поверхню чаші від матеріалу, що налип та рівномірно направляють його під катки.

В процесі подрібнення застосовують також верхній привод катків, бігуни з чашею, що обертається, бігуни з пружинним, пневматичним або гідравлічним притискачем катків. Застосування останніх дозволяє знизити металоємність самої машини. Частота обертання вертикального валу бігунів складає 0,3...0,9 об/с, питомі витрати енергії - 0,7...4,0 кВт/т.

1.5.2 Дробарки ударної дії [2]

В машинах ударної дії подрібнення матеріалу здійснюється під дією виникаючих ударних навантажень. Такі навантаження можуть з'являтися при взаємному зіткненні частинок матеріалу що подрібнюється, зіткненні часток матеріалу з нерухомою поверхнею, зіткненні матеріалу і робочих органів устаткування, які рухаються.

До дробарок ударної дії належать молоткові та роторні дробарки, а також пальцеві подрібнювачі.

1.5.2.1 Особливості робочого процесу

В дробарках ударної дії шматок матеріалу, що подрібнюється піддається впливу робочого органу тільки з одного боку. Виникаюча при цьому сила врівно-

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

важується силою інерції шматка, якої має вистачити для створення руйнуючих напружень.

Дроблення матеріалу проходить під впливом механічного удару. При цьому кінетична енергія тіл, що рухаються, частково або повністю переходить у саму деформацію руйнування.

Такі дробарки використовуються для подрібнення малоабразивних матеріалів середньої міцності, а також м'яких (крейди, гіпсу, вапняків, калієвих руд тощо). Вони дозволяють отримати високу ступінь подрібнення $i = 15...20$, в окремих випадках до $i = 50$, що дозволяє зменшити число стадій обробки матеріалу. Дробарки розрізняються вибірковістю дроблення, простотою конструкції і експлуатації та малою металоємністю.

За конструкцією робочих органів існують дробарки:

- молоткові із шарнірно підвішеними молотками (рис.1.11, б);
- роторні із жорстко закріпленими билами (рис.1.11, а, в, з);
- ударної дії;
- пальцеві подрібнювачі.

За числом роторів розрізняють дробарки:

- однороторні (рис.1.11, а);
- двох роторні (рис.1.11, в, з).

Двохроторні дробарки одноступеневого дроблення (рис.1.11, в) мають високу продуктивність. Початковий матеріал рівномірно надходить на обидва ротори, що працюють самостійно в одному корпусі. В двухроторних дробарках двоступеневого дроблення (рис.1.11, з) матеріал у зоні дії першого ротора піддається попередньому роздробленню, а потім, у зоні дії другого ротора – повторному руйнуванню.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

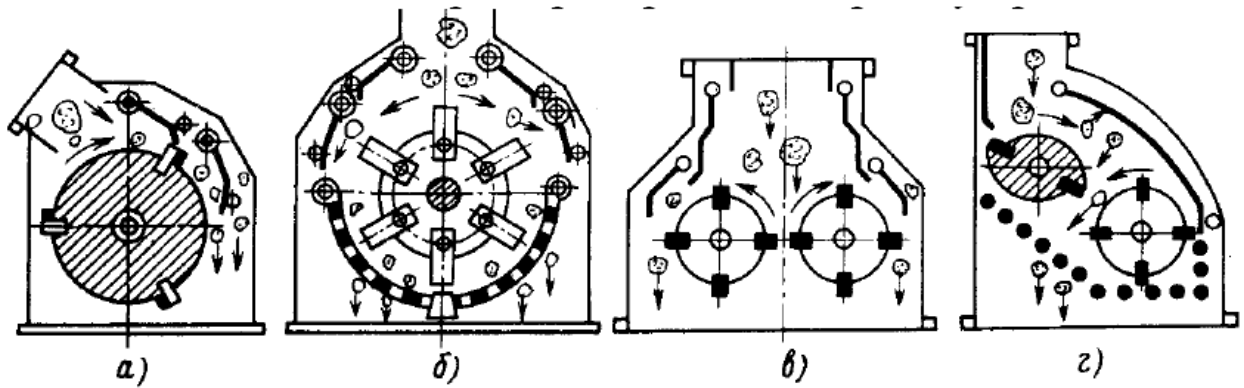


Рисунок 1.11 – Принципові схеми ударних дробарок

Роторні дробарки можуть використовуватися для руйнування великих шматків, оскільки мають масивний ротор і великий запас енергії самих робочих органів.

У молоткових дробарках (рис.1.11, б) процес роздроблення визначається лише кінетичною енергією самого молотка.

В пальцевих подрібнювачах робочим органом виступають два диски зі встановленими по їх периферії пальцями. На сьогодні існують пальцеві подрібнювачі з одним диском (дисмембратори), що обертаються, і з двома дисками, що обертаються один одному назустріч (дезінтегратори).

Типорозміри молоткових і роторних дробарок визначаються діаметром і довжиною ротора, а пальцевих подрібнювачів – тільки зовнішнім діаметром диска.

1.5.2.2 Конструкції дробарок

За технологічним призначенням роторні дробарки бувають:

- великого дроблення (ДРВ),
- середнього дроблення (ДРС),
- дрібного дроблення (ДРД).

Принципові конструктивні схеми роторних дробарок однакові багато в чому. Можуть відрізнятися тільки числом відбиваючих плит і співвідношеннями ро-

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

змірів самого ротора. Камера дроблення в дробарках ДРВ утворюється ротором і двома відбиваючими плитами, в дробаркаї ДРС і ДРД – ротором і трьома відбиваючими плитами. Конструкція роторної дробарки для великого дроблення показана на рис.1.12. Корпус дробарки – зварний, роз’ємний. Він складається з основи 1 і верхньої частини 2. Верхня частина корпусу зсередини захищена броньовими плитами 3. Вал ротора 8 встановлений на роликівих підшипниках, що розташовані в корпусах основи 1. Корпус ротора – литий, сталевий. В його пазах клинами закріплені била 6 зі зносостійкої сталі або спеціального чавуну.

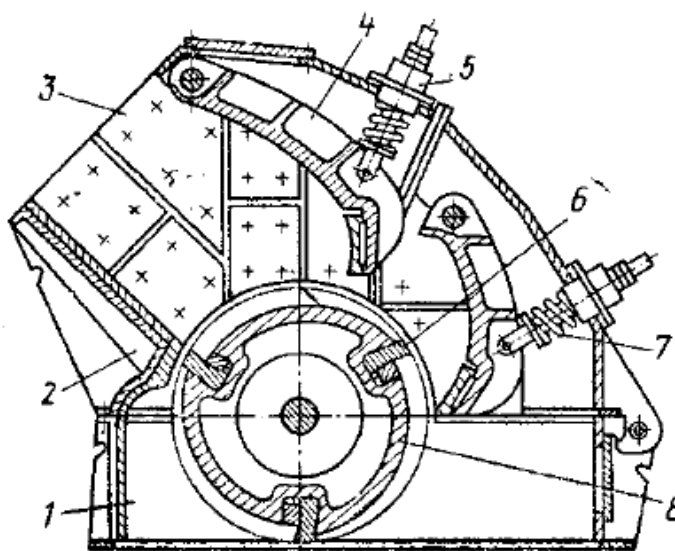


Рисунок 1.12 – Роторна дробарка

Всередині верхньої частини корпусу шарнірно закріплено декілька відбиваючих плит 4. Простір між ротором, відбиваючою плитою та бічними захисними плитами утворює камеру дроблення. Для регулювання ступеня подрібнення відстань між нижніми кромками відбиваючих плит і билами змінюється за допомогою тяг 5, що підпружинені. Вони є також механізмами запобігання від поломок устаткування при потраплянні до нього предметів, щл не подрібнюються. Верхня частина корпусу має роз’ємні передню та задню частини. Остання за допомогою вбудованого домкрата може відкидатися на шарнірі, який полегшує доступ до робочих органів для їхнього діагностичного огляду та ремонту. Приймаючий отвір

Била та молотки, які працюють в абразивному середовищі, виготовляють зі сталі 110Г13Л або зі звичайної сталі вуглецевої з наплавленням на робочі поверхні зносостійких сплавів.

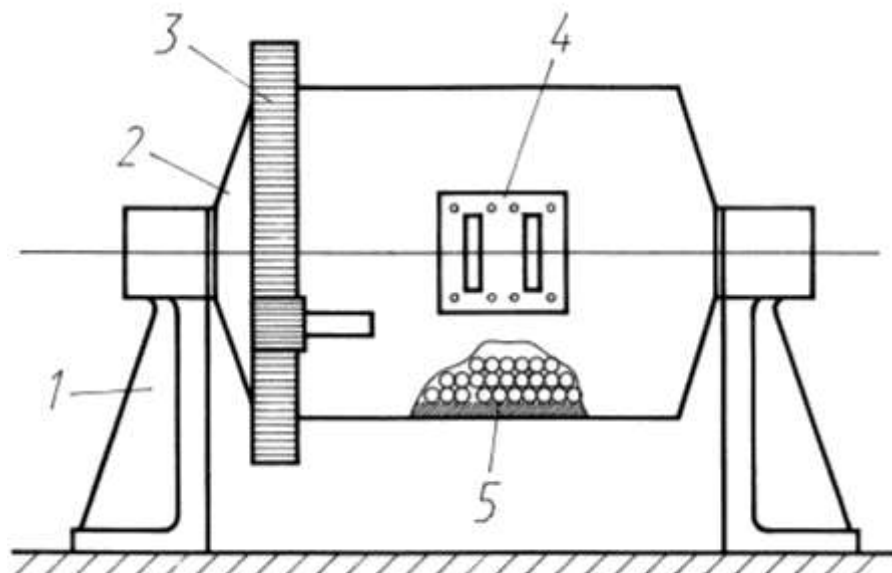
1.5.3 Барабанні млини [3-6]

Для тонкого подрібнення матеріалів в більшості випадків застосовуються барабанні млини, які складаються з барабану, футерованого броньовими плитами. Барабан частково заповнений тілами, що подрібнюють (стержні, кулі, морська галька тощо). При обертанні барабану тіла, що подрібнюють притискаються до його стінки виникаючою відцентровою силою, піднімаються на деяку висоту, а потім при своєму падінні подрібнюють завантажений матеріал під дією удару. Одночасно, завдяки пересуванню тіл, що подрібнюють в нижній частині перерізу барабану і їхньому скочуванню, матеріал частково подрібнюється перетиранням. На невеликих виробництвах і на великих установках використовуються барабанні млини періодичної дії (рис.1.14, лист [МРМА22.00.00.000ДО2]). Тут завантаження та розвантаження матеріалу, що подрібнився проводиться через люк в циліндричній стінці барабану. В таких млинах часто поєднують подрібнення матеріалу з іншими хімічними і фізичними процесами. На великих і середніх виробництвах застосовуються барабанні млини безперервної дії (рис.1.15). Такі млини мають пустотілі цапфи. Одна цапфа застосовується для безперервного завантаження початкового матеріалу, друга - для безперервного вивантаження матеріалу, що подрібнений струменем води (мокре подрібнення) чи струменем повітря (сухе подрібнення). Подача води чи повітря проводиться через цапфу для завантаження. Для відокремлення матеріалу, що подрібнився від несучих струменів повітря чи води застосовуються спеціальні апарати (відстійники, фільтри, циклони, гідроциклони). Матеріал, що виноситься струменем води чи повітря, як правило, має деяку кількість частинок, які більші за розміром ніж потрібно. З цієї причини такі млини працюють часто в замкненому циклі з калібруючими пристроями, звідки цільові частинки йдуть за призначенням, а більш великі для подальшого подрібнення по-

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

вертаються в машину. Діаметр млинів для сухого подрібнення може досягати 3,8 м при довжині 5,5 м, а для вологого - 3,2 та 3,1 м відповідно.

Для отримання подрібненого матеріалу заданого розміру часток без допомоги калібруючих пристроїв використовують багатокамерні (трубні) барабанні млини. Їх барабан поділений кільцевими діафрагмами на ряд камер (може бути 3-5), що заповнюються тілами (кулями, стержнями) для подрібнення різних розмірів. Діаметр трубних млинів може досягати 1,5 м, а їхня довжина - 7,5 м. Завантаження і розвантаження тіл для подрібнення проводиться через завантажувальні люки, а початкового і кінцевого подрібненого матеріалу - через пустотілі цапфи. Величина фракції помолу залежить від часу перебування матеріалу у млині.



1-опора; 2-барабан; 3-зубчатий привод; 4-люк; 5-подрібнюючі тіла

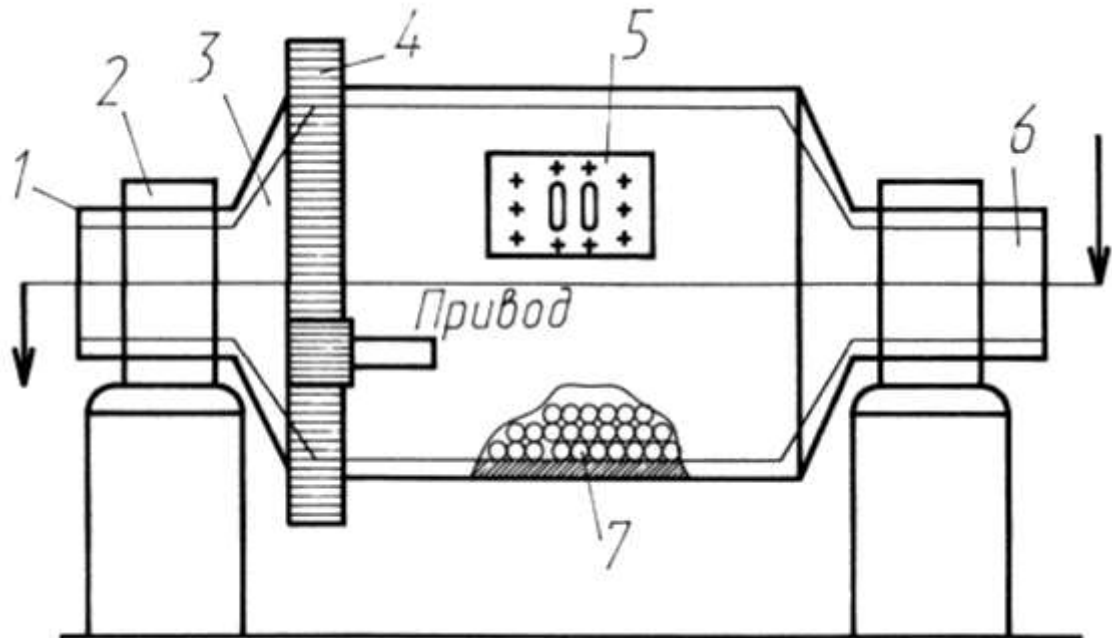
Рисунок 1.14 - Однокамерна машина періодичної дії:

Також працюють без допомоги спеціальних калібруючих пристроїв ситові барабанні млини безперервної дії. Відмінною особливістю таких млинів є присутність циліндричного зовнішнього сита, яке пропускає цільові частки. Робочий броньований барабан, який несе тіла для подрібнення, має отвори для виходу матеріалу на сито і повздовжні щілини для повернення великих часточок, що не пройшли через сито в барабан. Для безперервної подачі початкового матеріалу

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

барабан має пустотілу цапфу. Виготовляють такої конструкції млини з барабаном в діаметрі від 500 до 1500 мм.

Їхнє застосування для сухого подрібнення матеріалів, що не злипаються.



1-вивантажувальна пустотіла цапфа; 2-підшипник; 3-барабан; 4-зубчатий привод; 5-люк; 6-завантажувальна цапфа; 7- тіла для подрібнення

Рисунок 1.15 - Однокамерна машина безперервної дії:

1.6 Задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі

На основі зробленого огляду існуючих технологічних та технічних рішень з тематики, що розглядається визначено задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі:

1. Розробити конструкцію кульового побутового млина.
2. Зробити розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

1.7 Висновки до розділу

В даному розділі проведено огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. Розглядаються загальні відомості про механічні процеси; про процеси подрібнення; про механічні властивості самих матеріалів. Наводиться класифікація машин для подрібнення матеріалів та приводиться опис устаткування для виконання даної операції. Визначаються задачі, які потрібно вирішити в магістерській роботі.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПОБУТОВОГО КУЛЬОВОГО МЛИНА

2.1 Вимоги до проектування барабанних млинів

Машинобудування – основна галузь будь-якої сучасної промислово розвинутої країни, яка одночасно визначає рівень розвитку виробничих сил суспільства, а також складає фундамент технічного прогресу всіх галузей народного господарства. Сучасне виробництво неможливе без різних високоефективних машин – пристроїв для перетворення енергії і (або) руху, накопичення і переробки інформації завдячуючи їх використанню збільшується продуктивність праці, полегшується фізична і розумова праця людини. В свою чергу, прогрес машинобудування визначається удосконаленням машин, що створюються.

Високі вимоги, що пред'являються сьогодні до сучасних машин, можуть бути задоволені в тому випадку, якщо вони будуть мати оптимальну конструкцію. Машини з оптимальною конструкцією забезпечують і якість продукції, низький рівень і якість продукції, низький рівень експлуатаційних і капітальних затрат, надійність роботи в різних умовах експлуатації. Якість машин і механізмів, що створюються в багато в чому залежить від повноти розробки і використання загальних методів проектування. Чим повніше будуть враховані вже на стадії проектування критерії продуктивності, надійності, точності, економічності, тим досконалішими будуть створені конструкції.

Вміння використовувати методи кінематичного і динамічного дослідження механізмів і машин абсолютно є потрібним як при складанні розрахункових схем і в процесі моделювання умов навантаження конструкцій і їх елементів, так і для подальших розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість, а також для коректної постановки експерименту [22].

Проектування - це процес складання опису, необхідного для створення ще не існуючого об'єкта (алгоритму його функціонування або алгоритму процесу), який здійснюється перетворенням первинного опису (технічного завдання), оптимізацією характеристик об'єкта та алгоритму його функціонування, усуненням

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

некоректності первинного опису та послідовним представленням описів деталізованого об'єкта різними мовами для різних етапів проектування [23].

У процесі проектування машин виконуються технічні та економічні розрахунки, схеми, графіки, пояснювальна записка, макети, складаються специфікації, кошториси, калькуляції та описи.

Процес проектування реалізується відповідно до певного плану, який можна подати у вигляді логічної схеми (логічного графа) побудови проєкту. Така схема відображає черговість виконання основних проєктних процедур та операцій.

Проєктна процедура відповідає формалізованій сукупності дій, виконання яких закінчується ухваленням проєктного рішення. Під проєктним рішенням розуміється проміжний або кінцевий опис об'єкта проектування, необхідний і достатній для розгляду та визначення, подальшого спрямування чи закінчення проектування. Проєктна процедура складається з елементарних проєктних операцій із суворо встановленим порядком їх виконання та спрямована на досягнення локальної мети у процесі проектування [22].

Проєктна операція - дія чи формалізована сукупність дій, що є частиною проєктної процедури, алгоритм якої залишається незмінним для низки проєктних процедур. Алгоритм проектування є сукупність розпоряджень, необхідних для виконання проектування.

Прикладами проєктних процедур може бути наприклад, розрахунок параметрів машини для подрібнення, вибір кінематичної схеми машини; оформлення складального креслення механізму чи вузла; а прикладами проєктних операцій - рішення системи рівнянь, що описують статичний стан будь-якого механізму машин щодо середніх навантажень його елементів, або статичний стан машини щодо реакцій опорної поверхні на рушій; розрахунок показників ефективності чергового варіанта конструктивної схеми машини; креслення типового графічного зображення (зубчастого зачеплення, шпонкового з'єднання, рамки креслення тощо) [22].

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Послідовність виконуваних під час проектування об'єкта проектних процедур називають маршрутом проектування. Якщо ця послідовність зберігається в багатьох об'єктах даного класу, то маршрут проектування є типовим.

Процедури проектування спираються на мову проектування, яка є засобом лінгвістичного або графічного представлення та перетворення опису при проектуванні.

Результатом проектування є проектне рішення (сукупність проектних рішень), що задовольняє заданим вимогам, необхідне створення об'єкта проектування. Після закінчення процесу проектування отримують проектні документи та проект загалом. У проектному документі, виконаному за заданою формою, представлено якесь проектне рішення, отримане при проектуванні.

Проект - це сукупність проектних документів відповідно до встановленого переліку, в якому представлено результат проектування [22].

Для того, щоб спроектувати конструкцію барабанного млина, необхідно виконати розрахунки технологічних і конструктивних параметрів на основі технічного завдання [4].

Технічне завдання (ТЗ, техзавдання) — вихідний документ проектування споруди чи промислового комплексу, конструювання технічного пристрою (приладу, машини, системи керування тощо), розробки інформаційних систем, стандартів чи проведення науково-дослідницьких робіт (НДР).

ТЗ містить основні технічні вимоги до споруди, виробу або послуги та вихідні дані для розробки; у ТЗ вказуються призначення об'єкта, сфера його застосування, стадії розробки конструкторської (проектної, технологічної, програмної тощо) документації, її склад, терміни виконання тощо, і навіть особливі вимоги, зумовлені специфікою самого об'єкта чи умовами його експлуатації. Як правило, ТЗ складають на основі аналізу результатів попередніх досліджень, розрахунків та моделювання [24].

Технічне завдання на проектування та розробку барабанного млина повинно включати такі показники:

а) фізико-механічні властивості матеріалу, який підлягає подрібненню:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- міцність матеріалу;
- питома вага, твердість, густина;
- хімічні властивості матеріалу (агресивність до металів, інертність).

б) потрібна ступінь подрібнення і початковий розмір шматків матеріалу;

в) продуктивність.

При здійсненні проектування необхідно визначити такі конструктивні і технологічні параметри, які забезпечують умови технічного завдання:

- геометричні розміри елементів;
- схему, тип і потужність приводу;
- швидкість руху робочих органів.

Крім того, при проектуванні потрібно виконати розрахунки на міцність, довговічність, надійність роботи.

2.2 Вибір варіанту розташування барабану

Для роботи установки для подрібнення можна використовувати два варіанти розташування барабану (рис.2.2) [5].

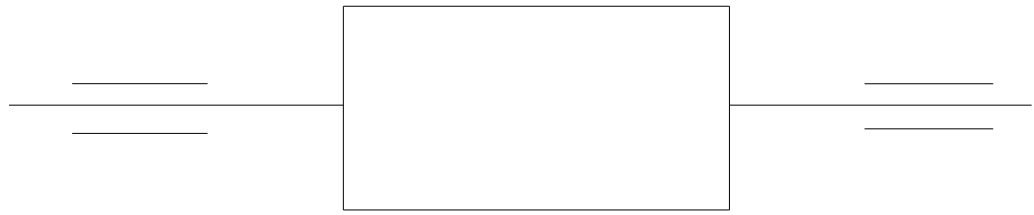
Варіант (а) використовують для промислових стаціонарних умов.

Варіант (б) більш раціональний для експериментальної установки.

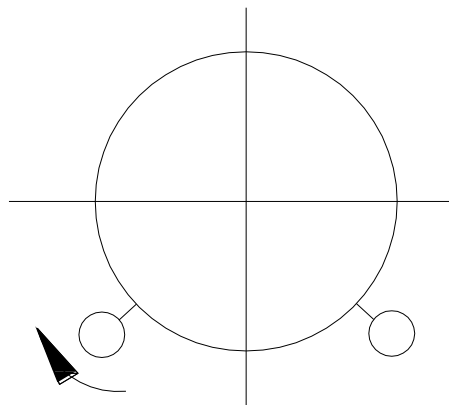
Таким чином, установка, що проектується буде мати вигляд представлений на рис.2.3.

На раму 6, що зварена зі швелерів, вкладається масивна чавунна плита. На плиті встановлений двигун 4 зі шківом, що передає обертання через клинопасову передачу веденому шківу. Ведений шків встановлений на шийці валу I, який розташований в двох підшипникових опорах 8. Паралельно зазначеному валу встановлений в опорах інший вал - ведений II. На валах розміщуються гумові втулки, на які встановлюється барабан, що заповнений тілами для помолу (сталевими кулями).

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45



а



б

а – з центральною віссю; б – на валках

Рисунок 2.2 - Схема розташування барабану:

2.3 Розробка кінематичної схеми кульового млина

Для того щоб розробити конструкцію побутового кульового млина в першу чергу було розроблено його кінематичну схему.

Кінематична схема – це схема, на якій показана послідовність передачі руху від двигуна через передаточний механізм до робочих органів машини (наприклад, до шпинделя верстату, ріжучому інструменту, ведучим колесам автомобіля тощо) і їх взаємозв'язок [25].

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

На структурній схемі зображають всі основні функціональні частини виробу і основні взаємозв'язки між ними. Функціональні частини показують у вигляді прямокутників або усовних графічних позначень.

Побудова схеми повинна давати найбільш наглядну уяву про послідовність взаємодії функціональних частин у виробі. На лініях взаємозв'язків рекомендується стрілками позначати напрямок ходу процесів, що проходять у виробі.

Дана кінематична схема приведена на рис.2.2 та на листі [МРМА22.00.00.000К2]. Основними елементами кінематичної схеми є: двигун 1; клинопасова передача 2; гумові валки 3; ведучий шків 4; ведений шків 5; ведучий вал I, ведений вал II [6].

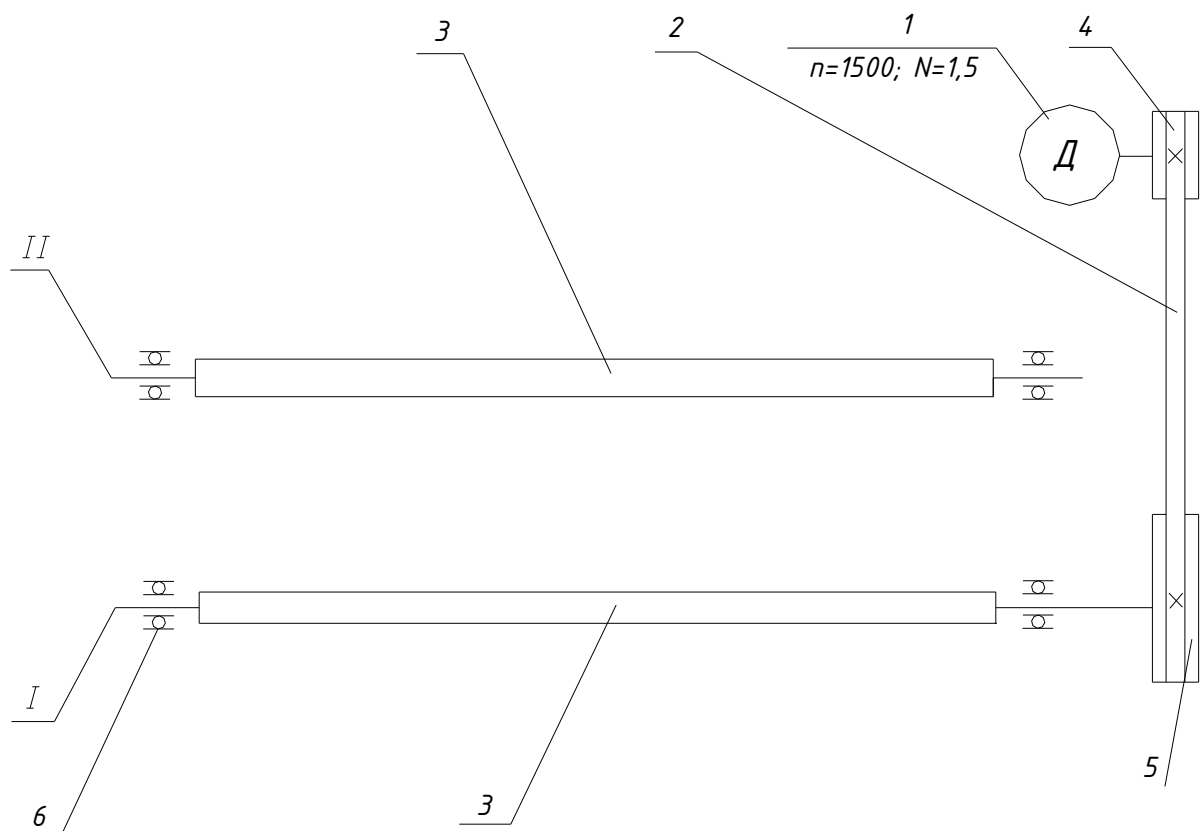


Рисунок 2.2 – Кінематична схема побутового кульового млина

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Принцип роботи побутового кульового млина заключається в наступному. При підключенні двигуна до електричної мережі через шків 4 і 5 та пасову передачу 2 приводиться в дію приводний гумовий вал 3. Барабан, що заповнений металевими кульками та матеріалом, який подрібнюється розміщено на валах 3. Приводний вал 3 приводить в дію барабан. Він починає обертатися. Таким чином при переміщенні кульок всередині нього відбувається процес подрібнення.

2.4 Розробка конструкції побутового кульового млина

Розроблена конструкція побутового кульового млина наведена на рис.2.3 та на листах [МРМА22.01.00.000СК, МРМА22.02.00.000СК]. Основними вузлами млина є:

- станина;
- привод;
- вузол приводних валків.

Створення 3D-моделей є популярним напрямом, що постійно розвивається. На даний час ніяке сучасне виробництво не обходиться без віртуального моделювання. Для вирішення різноманітних завдань передбачено різне програмне забезпечення, у тому числі вузькоспеціалізоване та специфічне.

Вибір того чи іншого програмного продукту для 3D-моделювання багато в чому визначатиметься колом розв'язуваних завдань. Є програми, які освоїти можна буквально за хвилини, але вони мають обмежений функціонал. А є програмні оболонки, які дозволяють зробити інженерне та скульптурне цифрове моделювання максимально комфортним, творчим та ефективним.

Популярні програми для створення 3D-моделей: Blender, SketchUp, AutoCAD, Maya, 3DS Max, Inventor, SolidWorks.

Для проектування кульового млина було обрано програмне середовище SolidWorks. На сьогодні програма SolidWorks – мабуть найпопулярніший інструмент для інженерного проектування та 3D моделювання. Саме в цьому пакеті

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

створюється більшість технічних деталей не тільки для друку 3D, але і для інших технічних цілей.

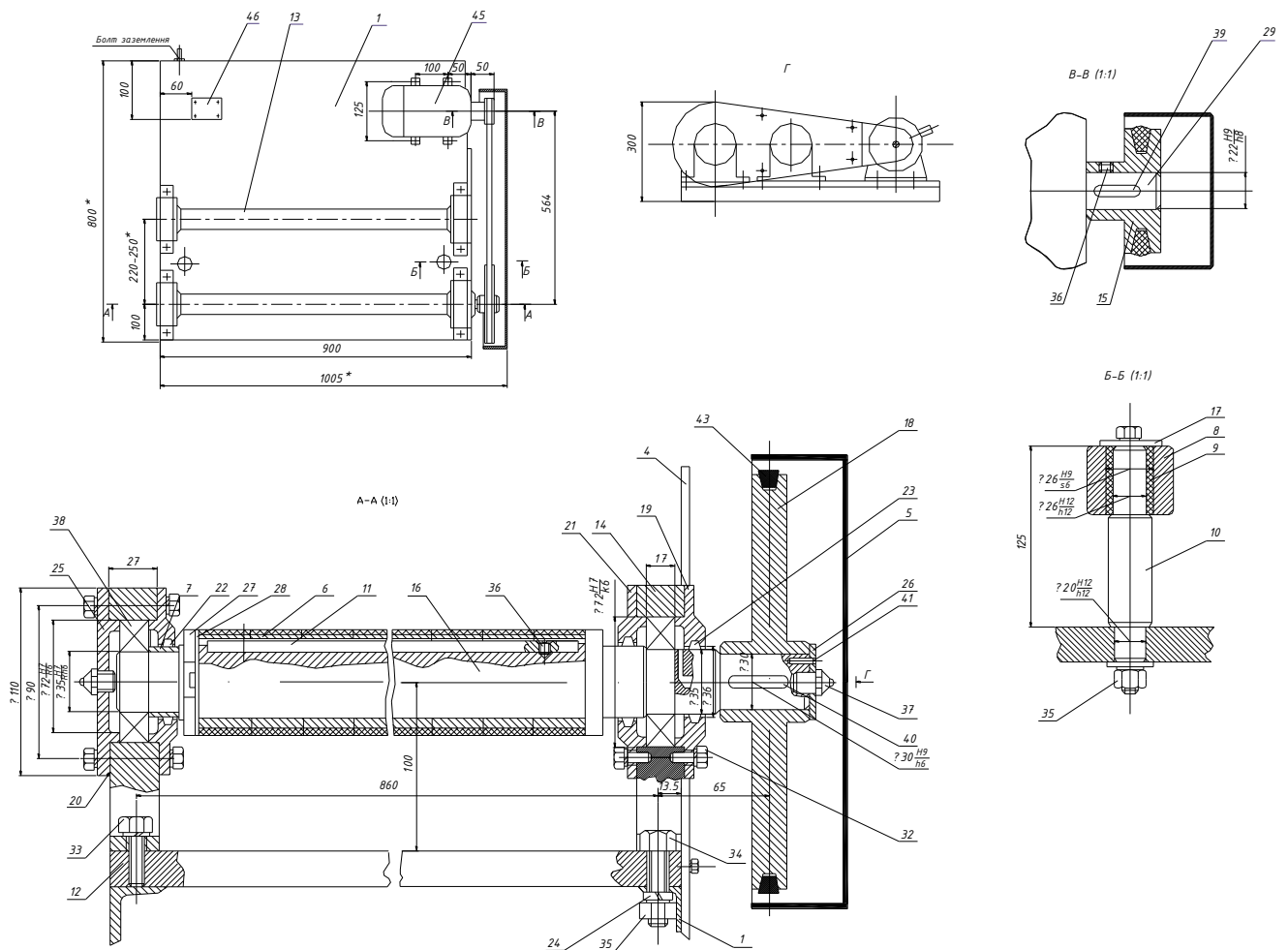


Рисунок 2.3 - Конструкція побутового кульового млина

Отже, SolidWorks є потужним інструментом для 3D моделювання та автоматизованого проектування складних виробів різного призначення. По суті, це повноцінний набір для конструювання виробів у цифровому вигляді, який містить у собі безліч додаткових інструментів, що дозволяють робити над моделлю віртуальні технічні випробування.

Можливості SolidWorks:

- твердотільне 3D моделювання;
- розробку зварних конструкцій;

										Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМА22.00.00.000 ПЗ					

- розрахунки на міцність;
- прорахунок гідро/аеродинаміки;
- можливість створення креслень;
- проектування з урахуванням матеріалу виробу;
- візуалізація;
- прорахунок на вигин;
- робота з даними 3D-сканування (функція ScanTo3D);
- можливість проектування виробів із листового металу;
- роботу із електросхемами;
- можливість анімації готового виробу;
- експорт даних у різні формати.

У програмі дуже зручно виконувати проектування повноцінних виробів, починаючи з базових етапів і до зборки [26].

3D-моделювання в SolidWorks є основою проектування будь-якого виробу. Усього в програмі є три моделювання трьох типів:

- твердотільне моделювання. Розробка виробів, що мають властивості реальних фізичних об'єктів. Є ідеальним варіантом для візуального представлення виробів, що проєктуються, а також для 3D-друку;

- поверхневе моделювання. У SolidWorks реалізовано через роботу з кривими та сплайнами. Дозволяє отримати вироби з гладкою поверхнею та плавними вигинами. Часто застосовується у промисловому дизайні;

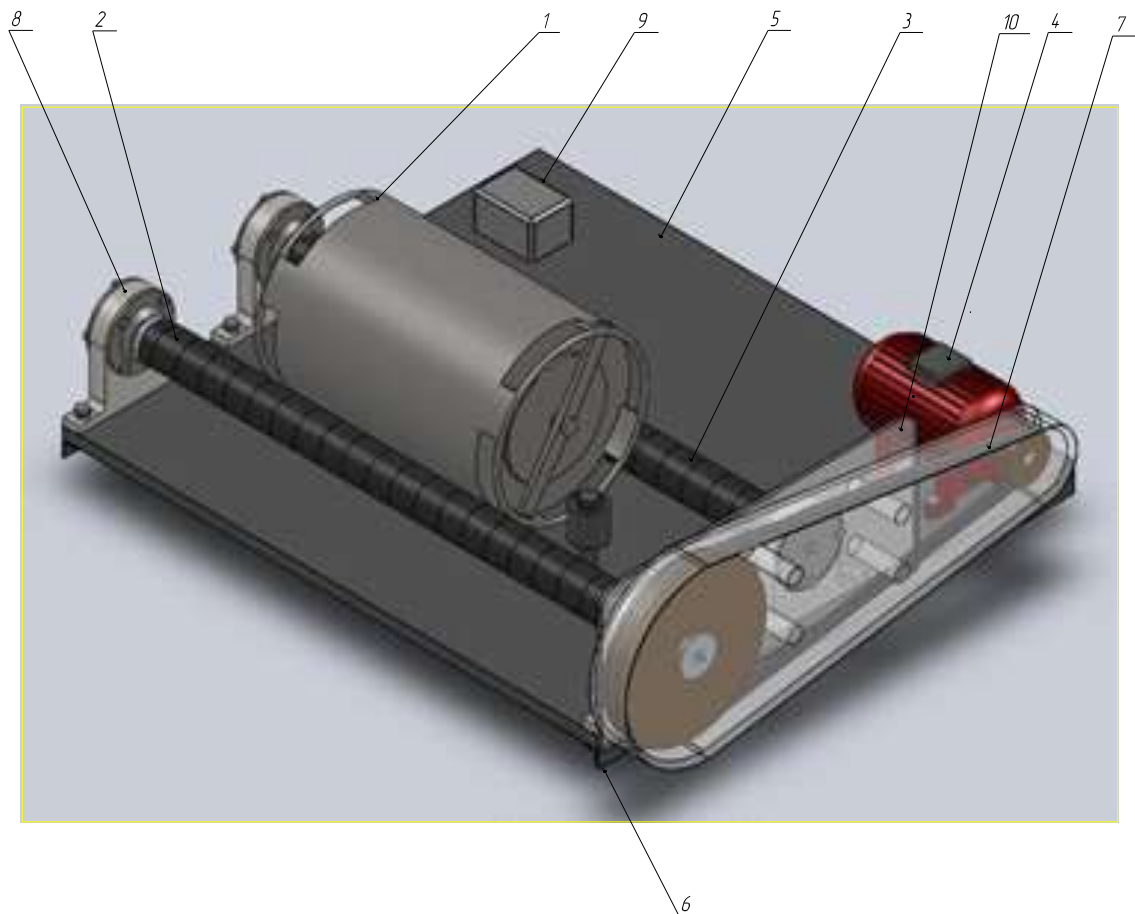
- каркасне моделювання. Так зване «скелетне» уявлення 3D-моделі дає уявлення про форму проєктованого об'єкта.

3D-модель побутового кульового млина, спроектована в програмному середовищі Solid Works приведено на рис.2.4 (лист [МРМА22.00.00.000ДІ]).

2.5 Розробка електричної схеми побутового кульового млина

Схема - це документ, на якому показані у вигляді умовних зображень або позначень складові частини виробу та зв'язки між ними [27].

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



1 – барабан; 2 – ведучий вал; 3 – ведений вал; 4 – електричний двигун; 5 – плита; 6 – рама; 7-захисний кожух; 8 – стійка; 9 – пульт керування; 10 - пластина

Рисунок 2.4 – Побутовий кульовий млин:

Електричні схеми залежно від їхнього основного призначення поділяються на типи:

- структурна;
- функціональна;
- принципова (повна);
- з'єднань (монтажна);
- підключення;
- загальна;
- розташування;

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- об'єднана.

Електричні схеми розробляються з метою проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту виробу. Для спрощення та прискорення роботи над виробом для нього розробляється кілька типів електричних схем, кожна з яких має своє призначення [28].

Кожен вид електричної схеми реалізується у вигляді креслення або графічного зображення, виконаного вручну або за допомогою друкарських пристроїв. Основні відмінності обумовлені описом тих чи інших функцій, зазначенням послідовності, принципу дії чи прив'язкою до чогось.

Принципова схема призначена для пояснення принципу дії того чи іншого принципу. Найчастіше її застосовують для різних розподільчих пристроїв у силових колах, будь-яких приладів тощо.

На структурних схемах здійснюється загальне зображення пристрою, всі компоненти або окремі вузли якого виконуються у вигляді блоків, що позначають обладнання, а зв'язки між блоками можуть говорити про ті чи інші операції, що зв'язують окремі блоки між собою.

Функціональна схема є детальнішим варіантом структурної, на ній також всі елементи зображуються окремими блоками. Головна відмінність у тому, що кожен блок має вже індивідуальну форму позначення відповідно до його функціонального призначення. Можливе також виділення різних видів зв'язків між частинами, об'єднання деталей у блоки тощо.

Загальна схема призначена для зображення місць розташування електричних апаратів біля або у межах електроустановки. Визначає основні типи електричних з'єднань цих апаратів, місця реалізації та т.п. Цей тип є обов'язковим при розробці різних конструкторських документів на етапі проектування. Але крім загальної, конструкторська документація включає ще дві не менш важливі схеми - з'єднань і підключень.

Схема з'єднання використовується для графічного зображення місць підключення електроустаткування. На ній вказуються конкретна прив'язка до частин будівель, розподільних установок, по відношенню до яких і повинен здійснюва-

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

тися монтаж електроустаткування, завдяки чому такий тип схем ще називають монтажними. Найчастіше монтажні схеми використовуються для позначення розведення електричних кіл у будівлі, широко застосовуються під час ремонту, щоб позначити місця прокладання проводки, встановлення розподільних коробок та виведення точок підключення до приладів та контактів апаратів.

Схема підключення використовується для визначення принципів з'єднання різних електричних або електронних блоків в єдину систему. Іноді передбачається, що блоки мають територіальний поділ, в інших ситуаціях вони можуть перебувати в межах одного розподільчого пристрою, шини або стійки.

Електрична схема побутового кульового млина приведена на рис.2.5 та на листі [МРМА22.00.00.000Е2]. Її основними елементами є: електричний двигун 4АА56В4; кнопки НАЗ 604.019 Сп; теплове реле; магнітний пускач ПМЕ-1132; пакетний вимикач ПВ3х10 та запобіжники ПРС-6-П [5].

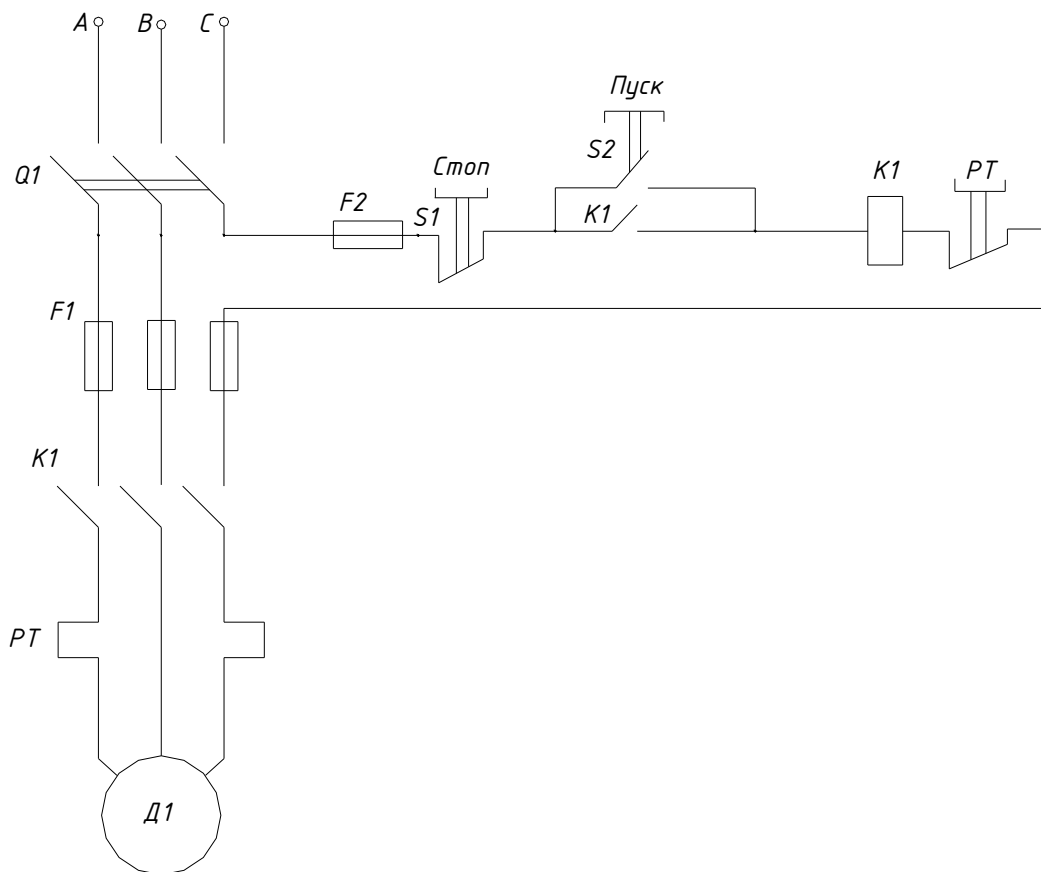


Рисунок - Електрична схема побутового кульового млина

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

2.6 Висновки до розділу

В даному розділі проведено розробку конструкції побутового кульового млина. Вибрано схему розміщення барабана для подрібнення, розроблено кінематичну та електричну схему, конструкцію та спроектовано в програмному середовищі Solid Works його вид загальний.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ КОНСТРУКЦІЇ

3.1 Розрахунок основних параметрів вузла барабану установки

3.1.1 Дослідження взаємозв'язку частоти обертання барабану з його діаметром [7-10]

При обертанні барабану під дією відцентрової сили металева кулька повинна піднятися до певної висоти, щоб при падінні зруйнувати матеріал, що знаходиться в ньому. Тому радіальна складова маси металевої кульки N_p в точці А відриву від поверхні барабану (рис.3.1) (лист [МРМА22.00.00.000РР]) повинна бути більше відцентрової сили q . Якщо маса металевої кульки рівна q , радіус барабану R_0 і його кутова швидкість w , тоді:

$$N_p = q \cos \alpha \text{ і } q_c (w = R_0 / g)$$

При частоті обертання барабану n умова відриву металевої кульки набуде вигляду:

$$q \cos \alpha = q (w^2 R_0 / g), \quad (3.1)$$

або

$$q \cos \alpha = q \left(\frac{4 \pi^2 n^2 R_0}{g} \right), \quad (3.2)$$

Прийmemo, що $P^2 = q$.

Звідси:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$n = \frac{1}{2} \left(\sqrt{\frac{\cos \alpha}{\sqrt{R_a}}} \right) \quad (3.3)$$

Якщо швидкість обертання барабану стане такою, що металевій кульки підніметься до точки A_3 , де $\alpha = 0$, і $\cos \alpha = 1$, то вона вже не буде падати, а буде разом обертатися з барабаном. Такому випадку відповідає критична частота обертання барабану:

$$n_{\text{ед}} = \frac{1}{2\sqrt{R_a}} \quad (3.4)$$

З формули 3.4 випливає, що критична частота обертання барабану не залежить ні від матеріалу, ні від діаметру металевій кульки для подрібнення.

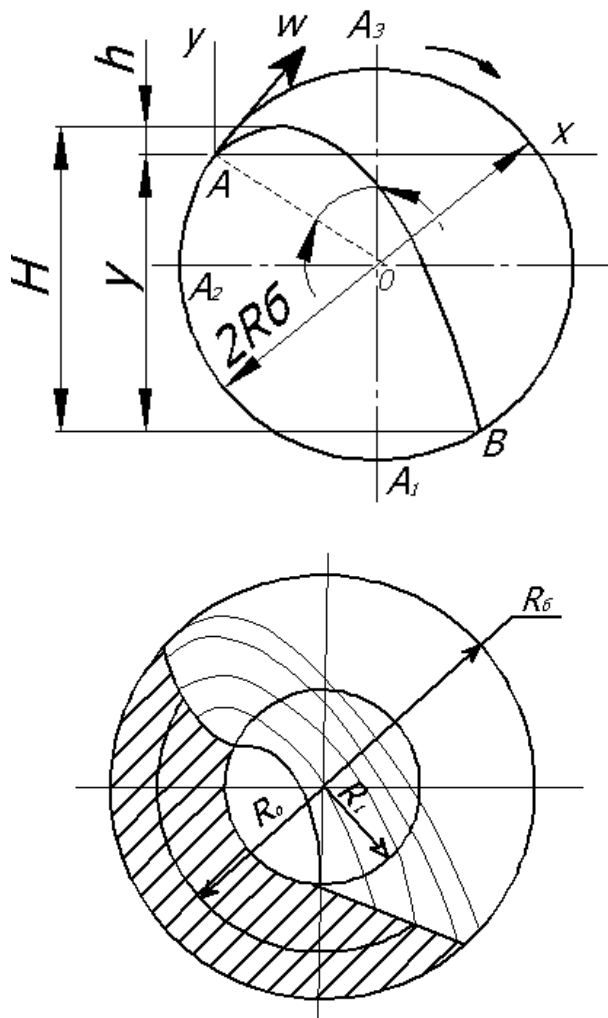


Рисунок 3.1 – Схема траєкторії руху металевій кульки та вихідного матеріалу

В момент відриву металева кулька продовжує рух, як тіло, що кинуте під кутом α до горизонту, зі швидкістю $V = 2\pi \cdot R_a \cdot n$ і в подальшому рухається по параболічній траєкторії (рис.3.1). Рівняння такої траєкторії в системі координат A_x має вигляд:

$$y = xtd\alpha - dx^2 / 2v^2 \cos^2 \alpha. \quad (3.5)$$

Щоб знайти найбільшу висоту підйому металевої кульки h над точкою A достатньо визначити значення x з умови $\frac{dy}{dx} = 0$ підставити його в рівняння (3.5).

При цьому знаходимо:

$$h = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2d}. \quad (3.6)$$

Для визначення координат точки падіння металевої кульки на поверхню ба-
рабану сумісно потрібно вирішити рівняння параболи (3.6) з рівнянням кола:

$$x^2 + y^2 - 2R_a \sin \alpha + 2R_a \cos \alpha = 0. \quad (3.7)$$

Після перетворень було знайдено:

$$x = 4R_a \sin \alpha \cos^2 \alpha, \quad (3.8)$$

$$y = -4R_a \sin^2 \alpha \cos \alpha.$$

Таким чином, повна висота падіння металевої кульки:

$$H = h + y = \frac{v^2 \sin^2 \alpha}{2d} = 4R_a \sin^2 \alpha \cos \alpha = \frac{2\pi R_a^2 n^2 \sin^2 \alpha}{d} + 4R_a \sin^2 \alpha \cos \alpha \quad (3.9)$$

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підставивши значення отримаємо:

$$H = 4,5R_a \sin^2 \alpha \cos \alpha. \quad (3.10)$$

Очевидно, що найбільша інтенсивність подрібнення матеріалу буде при максимальній висоті падіння металевої кульки, яка визначається з умови $\frac{dH}{d\alpha} = 0$, тобто $2 - 3\sin^2 \alpha = 0$, звідки $\alpha = 54^\circ 40'$

Таким чином, оптимальний кут відривання металевої кульки дорівнює $\alpha = 54^\circ 40'$.

Тоді оптимальна частота обертання барабану буде визначатися з наступної формули:

$$n_{opt} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\cos 54^\circ 40'}{R_\sigma}} = \frac{0,35}{\sqrt{R_\sigma}}. \quad (3.11)$$

3.1.2 Визначення потужності, потрібної для обертання барабану

Роботу подрібнення виконують не тільки металеві кульки зовнішнього шару, а також металеві кульки внутрішніх шарів. Однак для них радіус обертання повинен бути $R < R_\sigma$. Тоді згідно з формулою (3.9) кути відривання будуть збільшуватись по мірі наближення шарів металевих кульок до вісі барабану.

З іншого боку, очевидно, що при заповненому барабані зменшиться висота падіння металевих кул, а відповідно і робота подрібнення. Теоретично і практично встановлено, що оптимальним є заповнення з коефіцієнтом $\varphi = 0.4 - 0.54$. При роботі барабанного млина енергія витрачається на підняття вантажу до певної висоти і надання йому (металевим кулькам) кінетичної енергії, а також подолання шкідливих опорів.

Тоді потужність буде визначатися за наступною формулою:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$N = \frac{n}{\eta} (A_n + A_k), \quad (3.12)$$

де $\eta = \text{ККД} (\eta = 0.9)$;

A_n – енергія підйому;

A_k - кінетична енергія.

Внаслідок різних кутів відриву металевих кульок, що знаходяться в барабані, перетин вантажу має складну форму, при чому умова найбільшої продуктивності буде визначатися із залежності $R_l = 0,481 R_o$.

Тоді радіус інерції вантажу визначається із формули:

$$R_o = \sqrt{R_o^2 + R_l^2} / 2 = 0,785 R_o. \quad (3.13)$$

Значенню R_o відповідає кут відривання $\alpha_i = 63^\circ$, тому висота підйому металевих куль виразиться формулою:

$$y_o = 4R_o \sin^2 \alpha_o \cos \alpha_o = 4 \cdot 0,785 R_o \sin^2 63^\circ = 1,13 R_o. \quad (3.14)$$

Таким чином, робота підйому вантажу визначається із виразу:

$$A_n = 1.13 R_o \cdot G \cdot d. \quad (3.15)$$

Робота на надання вантажу кінетичної енергії знаходиться за формулою:

$$A_k = \frac{G}{2d} (0.785 \cdot 2\pi n R)^2 \approx \frac{G}{d} 12,15 n^2 R_o^2. \quad (3.16)$$

Кульове навантаження, як показали теоретичні розрахунки, здійснює за один оберт 1,795 циклу, тому повні витрати потужності складуть:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{1,795}{\eta} \left(1,13R_0 G d + \frac{12,15GR_0^2 n^2}{d} \right), \quad (3.17)$$

де G - маса металевих кульок.

Для точного розрахунку до маси металевих кульок можна додати масу матеріалу і масу барабану.

Дослідження залежності потужності барабанного млина від радіусу самого барабану.

Підставивши вираз (3.11) для оптимальної частоти обертання барабану, в формулу (3.17), і після перетворень було отримано залежність потужності від радіусу барабану при оптимальній частоті обертання (для даного розміру):

$$N = \frac{0,682G\sqrt{R_0}}{\eta} \left(1,13d + \frac{1,755}{d} \right), \quad (3.18)$$

або при $\eta = 0,9$, $g = 9,8 \text{ м/с}$,

$$N = 8,53G\sqrt{R_0}. \quad (3.19)$$

3.1.2 Визначення діаметру і кількості металевих кульок для помолу

Діаметр металевих кульок вибирається в залежності від міцності матеріалу, що подрібнюється, величини його шматків і діаметру самого барабану.

На практиці діаметр металевих кульок вибирається з умови $d \leq \frac{R_0}{10}$ або за формулою В.М. Олевського:

$$d = 6ld_k \sqrt{d_H}, \quad (3.20)$$

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де d_k, d_i - діаметри металевих кульок після і до подрібнення.

Кількість металевих кульок вибирається з умови оптимального заповнення барабану:

$$\alpha = 0,4 - 0,54,$$

де α - коефіцієнт заповнення.

3.1.3 Визначення маси завантаженого барабану

Якщо припустити, що коефіцієнт заповнення об'єму металевими кульками k (крім кульок наявний матеріал), то можна визначити масу навантаження:

$$G = \alpha \cdot k \rho_k \pi R_o^2 L. \quad (3.21)$$

де ρ_k - густина матеріалу кульок, (кг/м³);

L - довжина барабану.

Коефіцієнт k залежить від співвідношення кількості металевих кульок і матеріалу, діаметру кульок і різниці в їх розмірах і формі (по мірі зношення) $k = 0,7 \dots 0,9$.

3.2 Розрахунок потужності обертання барабану та вибір електричного двигуна

Діаметр барабану було прийнято $D_o = 225$ мм виходячи з необхідних габаритів млина, але з можливістю монтажу іншого шляхом вставлення його всередину базового. Довжина барабану складає 400 мм.

Для барабану оптимальна частота обертання буде рівною:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

$$n_{\text{ном}} = 0,38 \cdot \frac{1}{\sqrt{R_{\delta}}} = \frac{0,38}{\sqrt{0,1125}} \approx 1,13(\text{с}^{-1}). \quad (3.22)$$

Критична частота обертання, при якій металеві кульки не будуть падати:

$$n_{\text{кр}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\cos 0}{R_{\delta}}} = 1,48(\text{с}^{-1}).$$

Таким чином регулювання частоти обертання приводу повинно здійснюватися в межах від 0,5 до 1,48 (1/с), щоб охопити весь діапазон режимів роботи.

Маса завантаження при $\varphi = 0,46$, $k = 0,8$, $\rho_k = 7800 \text{ кг/м}^3$, $L = 0,4 \text{ м}$;

$$G = 0,4 \cdot 0,8 \cdot 7800 \cdot 0,4 \cdot 3,14 \cdot 0,1125 = 32 \text{ кг.}$$

Тоді потужність обертання барабану при оптимальній частоті обертання згідно з формулою (3.18) буде складати:

$$N_{\text{опт}} = 8,53 \cdot 32 \cdot \sqrt{0,1125} = 91,55 \text{ Вт},$$

а при критичній частоті обертання:

$$N = \frac{1,795 \cdot 1,48}{0,9} (1,13 \cdot 0,1125 \cdot 32 \cdot 9,81 + \frac{12,15 \cdot 32 (0,1125 \cdot 1,48)^2}{9,81}) = 120 \text{ Вт.}$$

Було вибрано асинхронний електродвигун серії 4А.

Асинхронні електродвигуни 4АМ та 4А - трифазні двигуни з короткозамкненим ротором. Охоплення потужностей від 0,06 до 400 кВт, частота 50 Гц. Типи

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання захисту IP44 або IP23. Двигуни радянського виробництва, для яких характерні надійний корпус, товста мідь, великий сервіс-фактор.

Виходячи з потрібної потужності згідно [5, 29] було вибрано електродвигун типу 4АА56В4 з потужністю $N = 0,18$ кВт, $\Pi = 1500$ об/хв.

Згідно тому, що частота барабану повинна змінюватись в межах 0,5 - 1,48 1/с, передаточне відношення трансмісії повинно знаходитися від $\Pi_o = 91$ до $\Pi_k = 41$.

3.3 Розрахунок геометричних розмірів млина

Вихідні дані:

- вага барабану $G = 320$ Н;
- коефіцієнт тертя (сталь по металевій кульці) $f = 0,45$ [4];
- діаметр барабану $D_2 = 225$ мм;

Відстань між валками було прийнято такою, що дорівнює діаметру барабану $a = 225$ мм (рис.3.2).

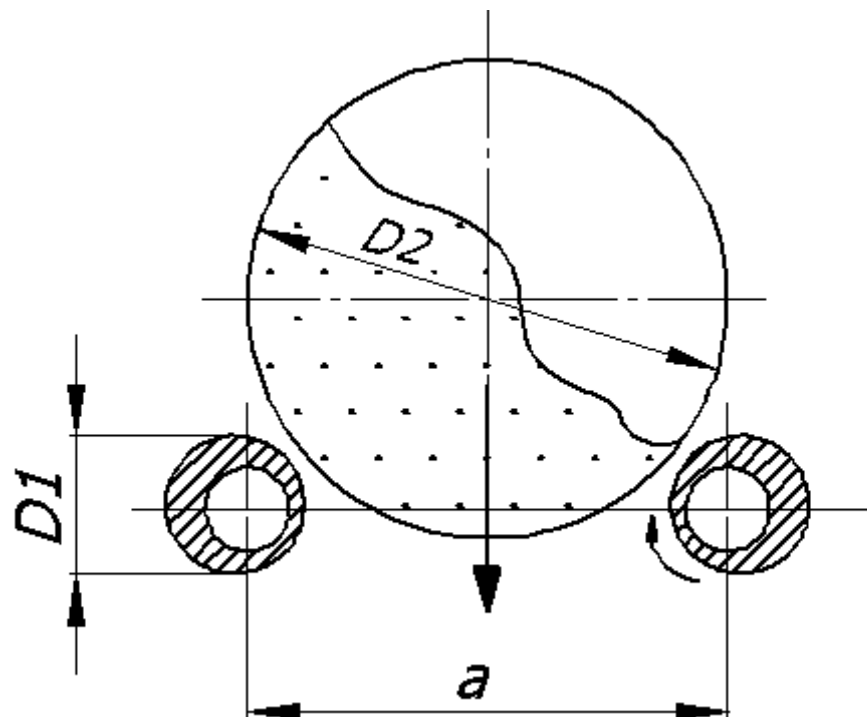


Рисунок 3.2 – Схема діаметрів барабану та валків

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Попередньо було прийнято передаточні числа для клинопасової передачі:

$$i_{кл.р} = 3,65, \text{ а для передачі втулка барабан } \dot{i}_1 = 3,75.$$

Тоді попередній діаметр ролика буде рівний (без врахування проковзування):

$$D_1 = \frac{D_2}{i_1} = \frac{225}{3,75} = 60(\text{мм}) \quad (3.33)$$

Проковзування в розрахунках не враховувалося так, як для роботи барабанного млина обчислення точних значень передаточних чисел не є потрібним.

Для визначення крутного моменту та окружного зусилля на валу виходили з наступної гіпотези:

- 1) барабан заповнений приблизно на половину об'єму;
- 2) вага стінок барабану не враховується;
- 3) центр маси металевих кульок з матеріалом, що подрібнюється, при обертанні знаходиться на відстані половини радіуса барабану.

Звідси окружне зусилля буде рівним:

$$P_{окр} = G/2 = 160\text{Н}, \quad (3.34)$$

де $N_{об} = 1500$ об/хв.,

Тоді потужність на валу барабана буде рівною:

$$N_{\sigma} = \frac{N_{об}}{i_{кл.р} \cdot \dot{i}_1} = \frac{1500}{3,65 \cdot 3,75} \approx 109,6 \text{ об / хв} \quad (3.35)$$

Частота обертання валу визначається за формулою:

$$W_{\sigma} = \frac{N_{\sigma}}{30} = \frac{3,14 \cdot 109,6}{30} \approx 11,5 \text{с}^{-1} \quad (3.36)$$

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Момент на валу барабана визначається із виразу:

$$M_{\delta} = P_{окр} \cdot R_{\delta} = P_{окр} \cdot \frac{D_2}{2} = 160 \cdot \frac{0,225}{2} = 18(H \cdot м) . \quad (3.37)$$

Потужність на валу барабану визначається за формулою:

$$N_{\delta} = T_{\delta} W_{\delta} = 18 \cdot 11,5 = 207 \text{ (Вт)} = 0,207 \text{ кВт.} \quad (3.38)$$

Було прийнято:

- кількість катків $n = 20$;
- діаметр барабану $D_2 = 225$ мм;
- діаметр ролика (по гумі) $D_1 = 60$ мм;
- ширину ролика $b = 20$ мм.

Контактне навантаження, що допускається, $[\delta_n] = 10$ МПа (для пари гума-сталь).

Модуль пружності:

- для сталі[4]:

$$E_1 = 2,15 \cdot 10 \text{ МПа,}$$

- для гуми [5]:

$$E = 5 \dots 10 \text{ МПа.}$$

Коефіцієнт тертя $f = 0,45$ (гума - сталь).

Коефіцієнт запасу зчеплення $c = 2$.

3.4 Розрахунок діаметрів валів

Схема напрямків сил на валах приведена на рис.3.3.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

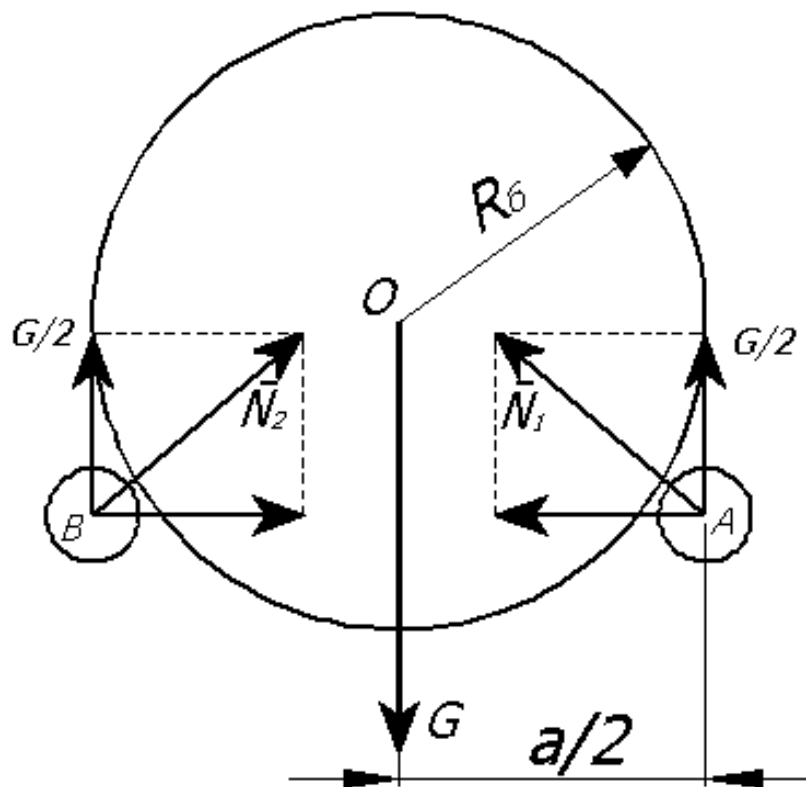


Рисунок 3.3 – Схема напрямків сил на валах

Виходячи із довжини барабану $L = 400$ мм, було прийнято довжину валів $L_1 = 800$ мм.

З подібності трикутників сил і трикутників OAC та OBC можна визначити

$$N = \frac{G}{2 \sin \alpha} \quad (3.39)$$

Кут α визначається за наступною формулою:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a/2}{R_6 + R_k}\right) = \arccos\left(\frac{112,5}{142,5}\right) = \arccos 0,78947 = 37^\circ 52' \approx 38^\circ.$$

За формулою (4.8) було визначено:

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$N_1 = N_2 = \frac{320}{2 \cdot 0,61383} \approx 260(H).$$

Даний розрахунок справедливий лише для випадку, коли центр ваги барабану знаходиться на його вісі.

Попередньо було прийнято діаметри шківів із стандартного ряду 63 мм і 230 мм.

Таким чином, виходячи з крутного моменту на валу барабану $T_6 = 18$ Н м знайдемо крутний момент на валу:

$$M_6 = \frac{M_6}{i_1} = \frac{18}{3,75} = 4,8(H \cdot m). \quad (3.40)$$

Для знаходження реакцій підшипників в точках А і В скористаємося рівняннями статички, які було складено для горизонтальної (рис.3.4) та вертикальної (рис.3.5) площин.

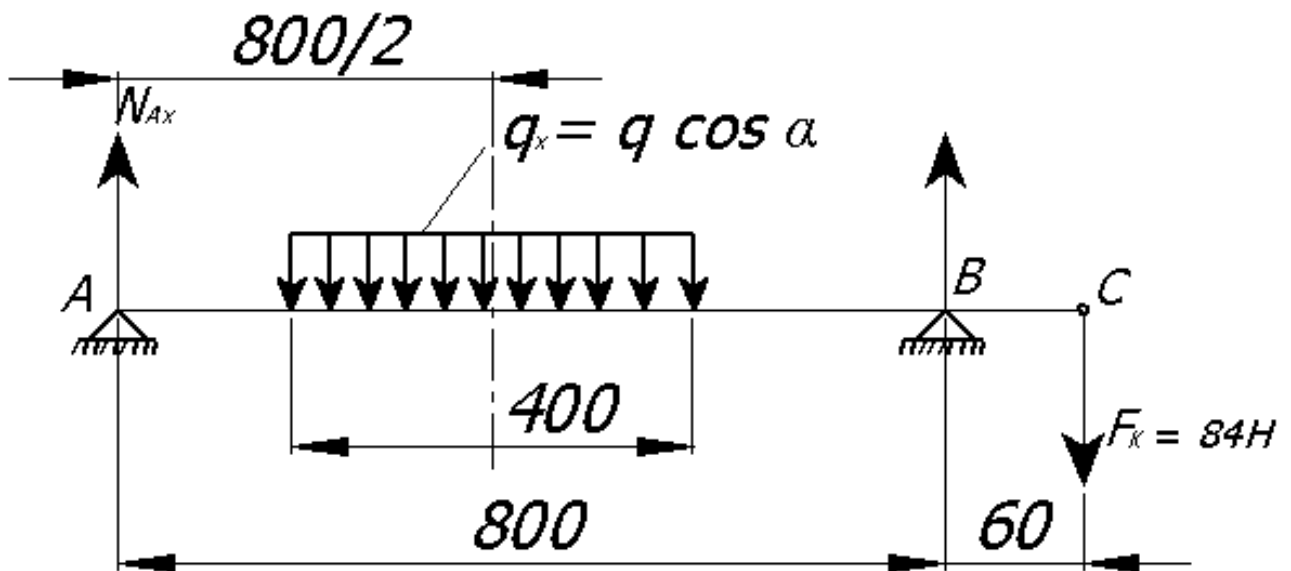


Рисунок 3.4 – Епюра вала в горизонтальній площині

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Тоді:

$$\begin{cases} N_{ax} + N_{ex} - L_{\delta} \cdot q \cos \alpha - F_k = 0 (\Sigma F_x = 0) \\ 400 \cdot L_{\delta} \cdot q \cos \alpha - 800 \cdot N_{ex} + 860 \cdot F_k = 0 (\Sigma M_a = 0) \end{cases} \quad (3.41)$$

З другого рівняння було знайдено $N_{ex} \approx 290H$, $N_{ax} \approx 109H$.

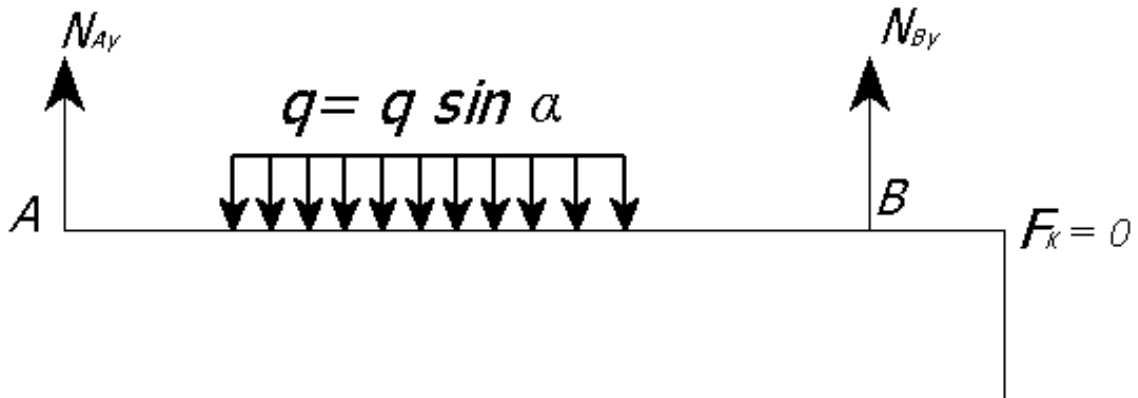


Рисунок 3.5 – Епюра вала у вертикальній площині

Тоді:

$$N_{Ay} = N_{By} (q_y \cdot L_{\delta}) / 2 = \frac{1}{2} L_{\delta} \cdot g \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 0,615 \approx 123H.$$

Проведемо складання епюр моментів згину для вала в горизонтальній (рис.3.6).

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

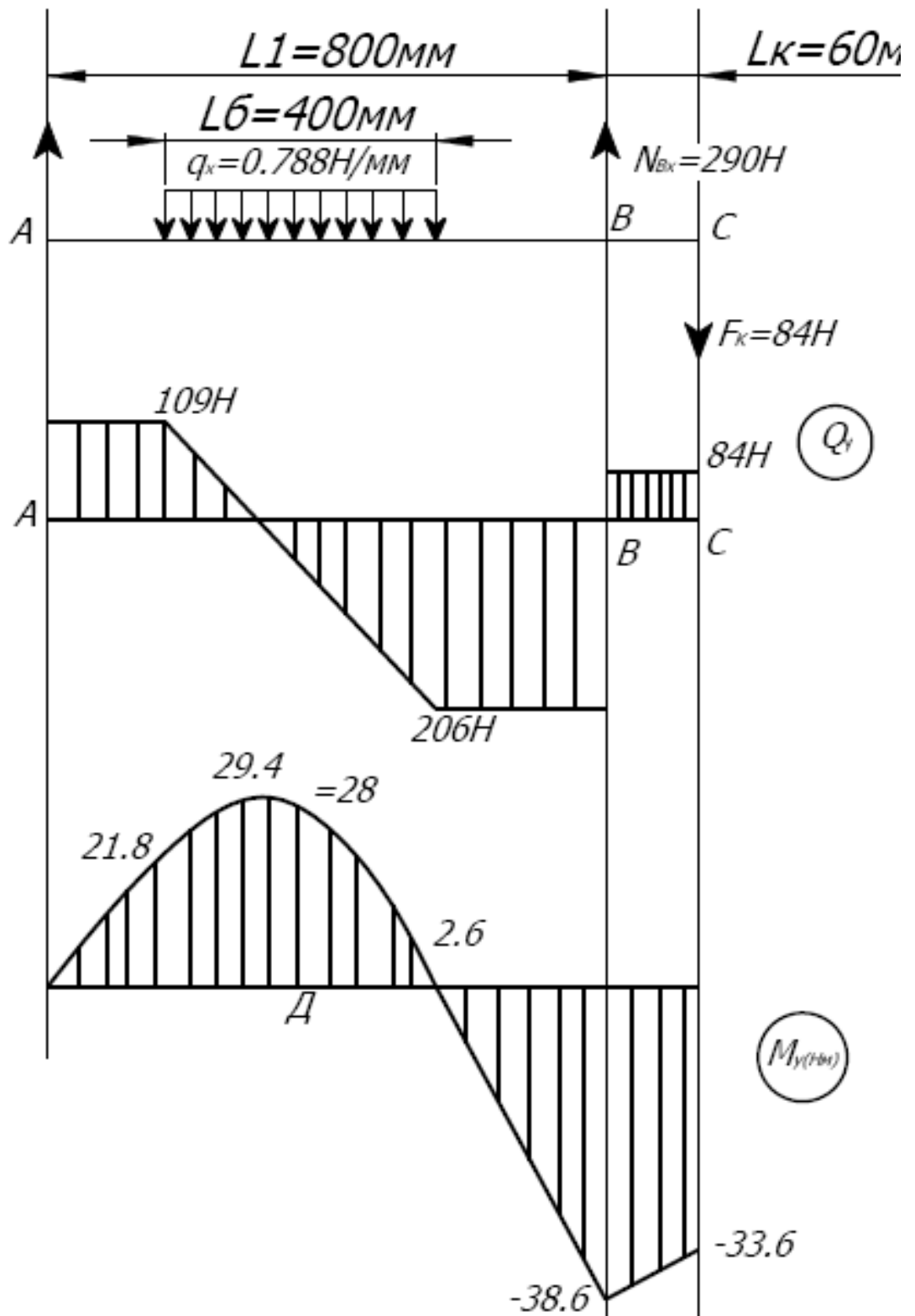


Рисунок 3.6 – Епюра вала в горизонтальній площині

Найбільш навантажена точка D вала посередині, в зв'язку з тим, що результуючий згинальний момент буде рівним:

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

$$M_D = \sqrt{M_{XD}^2 + M_{YD}^2} = \sqrt{37,1^2 + 28^2} \approx 46,5 \text{ Нм}. \quad (3.42)$$

Розрахунок діаметра вала.

Розрахунок проводимо за крутним моментом:

$$d = \sqrt[3]{T / 0,2[\tau]}. \quad (3.43)$$

Крутний момент $T = 4,8 \text{ Н} \cdot \text{м} = 4,8 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$, $[\tau] = 30 \text{ МПа}$.

За формулою (4.13) було визначено:

$$d = \sqrt[3]{\frac{4,8 \cdot 10^3}{0,2 \cdot 30}} = 9,28 \text{ (мм)}.$$

Із конструктивних міркувань було прийнято діаметр вала в місці посадки шківів 30 мм, в місці встановлення підшипників - 35 мм, а в місці встановлення втулок - 42 мм.

Проведемо розрахунок довжини паса за формулою [6]:

$$\begin{aligned} L_p &= 2a + \frac{\pi}{2}(D_1 + D_2) + \frac{(D_1 + D_2)^2}{4a} = \\ &= 2 \cdot 500 + \frac{3,14}{2}(63 + 224) + \frac{224 - 63}{4 \cdot 500} = \\ &= 1000 + 450,59 + 12,9 = 1463,49 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.44)$$

Було вибрано найближчу стандартну довжину паса $L_p = 1600 \text{ мм}$.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

3.5 Вибір підшипників

Так як осьових навантажень немає, то згідно [5] було вибрано підшипник 1207 ($d = 36$, $D = 72$, $b = 17$) ГОСТ 5720 - 75.

3.6 Висновки до розділу

В даному розділі здійснено розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції млина, а саме: розрахунок основних параметрів вузла барабану; розрахунок потужності обертання барабану та вибір електричного двигуна; розрахунок геометричних розмірів; розрахунок діаметрів валів установки.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської роботи було розроблено кульовий млин для сфери побуту.

В першому розділі проведено огляд існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. Викладаються загальні відомості про механічні процеси; про процеси подрібнення; про властивості матеріалів. Розглядається класифікація машин для подрібнення матеріалів та приводиться опис даного устаткування. Визначаються задачі, які необхідно вирішити в магістерській роботі.

В другому розділі здійснено розробку конструкції кульового млина. Вибрано схему розміщення барабана для подрібнення, розроблено кінематичну та електричну схему, конструкцію та спроектовано в програмі Solid Works його загальний вигляд.

В третьому розділі проведено розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції млина, а саме: розрахунок основних параметрів вузла барабана; розрахунок потужності обертання барабану та вибір електричного двигуна; розрахунок діаметрів валів; розрахунок геометричних розмірів.

Підсумовуючи вище викладене, можна зробити висновок про доцільність даної розробки та впровадження її в дію. Пристрій забезпечить якісне подрібнення матеріалів, а також буде надійним, малогабаритним та зручним в експлуатації.

					MPMA22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Механічні процеси. [Електронний ресурс]. Режим доступу:<http://elib.lutsk-ntu.com.ua/book/knit/auvp/2011/11-88/page10.html>.
2. Саленко Ю.С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини: Навч. посібник. – Кременчук: КДПУ, 2008. – 100 с.
3. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия. 1981. В двух книгах. Книга вторая. – 812 с.
4. Плановский А.Н. , Николаев П.И. Процессы и аппараты химический и нефтехимической технологии: Учебник для ВУЗов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
5. Пахаренко М.С. Справочник по наполненным термопластам. – М.: Машиностроение, 1983. – 381с.
6. Кузьмин А.В., Чернин Н.М., Козинцев Б.С. Расчеты деталей машин. Справочное пособие. - М.: Машиностроение, 1974. - 319с.
7. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Изд. 4-е перераб. и доп. Кн. 1,2. - М.: Машиностроение, 1986. – 423с.
8. Машины и аппараты химических производств: Примеры и задачи: Учебное пособие для студентов вузов / И.В. Доманский, В.П. Исаков, Г.М. Островский и др.; Под общ. ред. В.Н. Соколова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1982. – 384 с.
9. Чернавский С.А., Ицкович Г.М., Боков К.Н. Курсовое проектирование машин. Учебное пособие для студентов мех. спец. ВУЗов. – М.: Машиностроение – 1983. – 341с.
10. Сиденко Л.М. Измельчение материалов. - М. Машиностроение: 1976. – 368 с.
11. Решетов В.М. Детали машин. Учебник для механических и машиностроительных специальностей ВУЗов. -4 изд. - М.: Машиностроение, 1989. - 496 с.
12. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений: Учебник для ВУЗов. – 2-е изд.: перераб. и доп. – М.: Машиностроение. 1983. - 345с

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Мартынов В.Д., Алешин Н.И., Морозов Б.П. Строительные материалы и монтажное оборудование. – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
14. Справочник металлиста / Под ред. Новикова Н.К. и Орлова П.Н. Т.4. - М.: Машиностроение, 1977. 456 с.
15. Клушанцев Б.В., Косарев А.И., Муйземнек Ю.А. Дробилки. Конструкции, расчет, особенности эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
16. Конструирование и расчет машин химических производств / Ю.И. Гусев, И.Н. Карасев, Э.Э. Кольман-Иванов и др. – М.: Машиностроение, 1985. – 408 с.
17. Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1966. – 395 с.
18. Андреев С.Е., Петров В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
19. Барабашкин В.П. Молотковые и роторные дробилки. – М.: Недра, 1973. – 114 с.
20. Косарев А.И., Силенок Д.С. Молотковые дробилки для промышленности строительных материалов. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1979. – 40 с.
21. Подрібнення в харчових технологіях: сутність, призначення, основне устаткування. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5194235/page:56/>
22. Тацилин Л.Н. Структурные и кинематические схемы механизмов. Перспективы науки. №8 (107). 2018. - С.17-22.
23. Основы проектирования машин. Основные понятия и определения. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://studref.com/388448/tehnika/osnovy_proektirovaniya_mashin_osnovnye_ponyatiya_opredeleniya.
24. Техническое задание на проектирование. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://sevak-world.web-box/construction/tz>.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

25. Кінематичні схеми. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ppt-online.org/885417>.

26. Solidworks 2016: Краткий обзор программы. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://3ddevice.com.ua/blog/3d-printer-obzory/obzor-programmy-solidworks/>.

27. Схема. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://wiki.tntu.edu.ua/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0>.

28. Проектування систем автоматизації. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vseosvita.ua/library/embed/01000zdz-8505.doc.html>.

29. Электродвигатели 4А и 4АМ. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://xn--80aqy.com.ua/elektrodvigateli-4a-i-4am/>.

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

ДОДАТОК А

					МРМА22.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76