

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

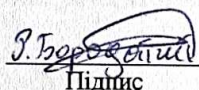
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості

Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу групи РМс-22-2


Підпис

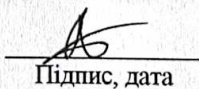
Бородатий Р.М.
Ініціали, прізвище

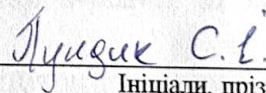
Керівник


Підпис, дата

д.ф., доц. Поліщук А.О.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

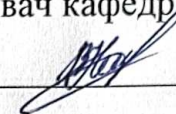
2 06 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 131 «Галузеве машинобудування»
Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


_____ 2. 06 .2025

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бородатий Роман Миколайович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості**

керівник роботи **Поліщук А.О., д.ф., доцент**

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи: **технічні характеристики машин аналогів та матеріалів**

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

1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи

2 Розробка конструкції обладнання для подрібнення матеріалів

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Пристрої для подрібнення. Док. оглядовий (A1). Аркуш 2.

Обладнання для подрібнення. Вид загальний (A1). Аркуш 3. Циліндр

робочий. Складальне креслення (A1). Аркуш 4. Рама. Складальне

креслення (A1). Аркуш 5. Обладнання для подрібнення. Схема

компонування (A2) + Обладнання для подрібнення. Схема електрична

(A2).

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	Примітки
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	20.05.25р.	
2 Розробка конструкції обладнання для подрібнення матеріалів	01.06.25р.	
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості	07.06.25р.	
4 Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	15.06.25р.	

Студент

Р. Герасимів
Підпис

Р.М. Бороватий
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Тимо
Підпис

А.О. Пойчук
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Бородатий Роман Миколайович**

2. Тема бакалаврської роботи **Розробка обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості**

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 72

5. Розробка конструкції подрібнювача матеріалів для потреб легкої промисловості, який б відповідав сучасним вимогам до продуктивності, енергоефективності, конструктивної простоти, надійності та безпеки експлуатації, а також міг бути адаптований для впровадження на підприємствах малого та середнього бізнесу є важливим кроком до підвищення ефективності виробництва та зниження собівартості продукції. Передбачене технічне рішення дасть змогу не тільки оптимізувати виробничі процеси, а й стати прикладом раціонального інженерного підходу до вирішення прикладних завдань у галузі машинобудування для легкої промисловості. Тому тема бакалаврської роботи є актуальною. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи. В другому розділі здійснено розробку конструкції обладнання для подрібнення матеріалів. В третьому розділі виконано розрахунки, що підтверджують працездатність обладнання для подрібнення матеріалів для потреб легкої промисловості.

Підпис студента Р. Бородатий

" 2 " 06 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від " 18 " 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК 4,0/С
Рекомендації ЕК _____

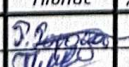
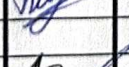
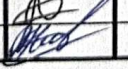

Особливі відмітки _____

Технічний секретар [підпис]

" 18 " 06 20 25 р.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ	6
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики бакалаврської роботи	8
1.1 Загальні відомості про механічні процеси	8
1.2 Призначення і методи подрібнення	9
1.3 Типи обладнання для подрібнення матеріалів	11
1.4 Патентні рішення щодо конструкцій подрібнювачів	19
1.5 Огляд матеріалів легкої промисловості, які можна подрібнювати	22
1.6 Висновки до першого розділу	25
2 Розробка конструкції обладнання для подрібнення матеріалів	27
2.1 Розробка компоновки обладнання для подрібнення матеріалів	27
2.2 Принцип дії та конструктивні особливості пристрою для подрібнення	29
2.3 Вибір робочих органів подрібнювача	30
2.4 Розробка електричної схеми пристрою для подрібнення	34
2.5 Розробка конструкції обладнання для подрібнення	36
2.6 Висновки до другого розділу	40
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості	42
3.1 Розрахунок потужності електричного двигуна	42
3.2 Розрахунок клинопасової передачі обладнання для подрібнення	46
3.3 Розрахунок валу	52
3.4 Розрахунок підшипників кочення	61

БРМА25.00.00.000 ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка обладнання для подрібнення матеріалів в легкій промисловості	Літ.	Арк.	Акрюшів	
		Бородатий						4	72
		Поліщук							
		Пучук							
		Неймак							
									ХНУ зр.РМс-22-2

3.5	Розрахунок шпонкових з'єднань	65
3.6	Висновки до третього розділу	67
	Висновки	69
	Перелік джерел посилання	70
	Додаток А	

					<i>БРМА25.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку промисловості, особливо в умовах зростаючої конкуренції та обмежених ресурсів малих і середніх підприємств, вибір подрібнюючого обладнання має базуватися на цілому комплексі техніко-економічних, експлуатаційних і функціональних критеріїв [1]. До ключових вимог, які пред'являються до такого обладнання, належать: універсальність конструкції (можливість обробки широкого спектру матеріалів), надійність у тривалому режимі експлуатації, компактність, ергономічність, енергоефективність, простота технічного обслуговування та високий рівень технологічної безпеки для персоналу. Окрім цього, сучасне обладнання має забезпечувати можливість легкої модернізації, адаптації до нових технологічних процесів і матеріалів, а також бути сумісним із сучасними системами керування і автоматизації виробництва.

Одним із важливих напрямів зниження питомих витрат ручної праці на виробничих дільницях є інтеграція механізованих установок, машин та технічних засобів, які забезпечують часткову або повну автоматизацію допоміжних технологічних процесів, зокрема операцій подрібнення, змішування, транспортування матеріалів тощо. Впровадження таких технологій дозволяє значно скоротити трудомісткість виробництва, зменшити ризики людського фактору, підвищити точність і повторюваність процесів, а також покращити загальні показники ефективності виробничих систем. Особливо актуальним є використання обладнання, здатного працювати в безперервному або напівавтоматичному режимі з мінімальним втручанням оператора.

У контексті модернізації легкої промисловості особливої актуальності набуває створення ефективних, доступних за вартістю, технологічно простих у виготовленні установок, які не потребують значних капіталовкладень, водночас забезпечуючи стале зростання продуктивності праці, зниження собівартості виготовлення продукції та зменшення виробничих витрат. Такі машини можуть відігравати критичну роль у розвитку локального виробництва, особливо для цехів і підприємств з обмеженим ресурсним потенціалом. Невеликі модульні пристрої з мо-

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						6
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

жливістю розширення функціональності та масштабування продуктивності відповідно до потреб виробництва є надзвичайно привабливими для широкого кола виробників. Вони дозволяють гнучко реагувати на зміни ринкової ситуації, розширення номенклатури продукції та індивідуалізацію технологічного процесу.

Застосування модернізованого або спеціалізованого подрібнювального обладнання дозволяє у кілька разів підвищити інтенсивність обробки сировини, покращити однорідність структури подрібненого матеріалу, забезпечити відповідність технічним стандартам та підвищити якість готової продукції [2]. Крім того, таке обладнання може використовуватись не лише для подрібнення первинної сировини, але й для повторної переробки відходів виробництва, що відкриває додаткові можливості для підвищення економічної ефективності підприємства та впровадження принципів циркулярної економіки.

Метою бакалаврської роботи є розробка конструкції подрібнювача матеріалів для потреб легкої промисловості, яка б відповідала сучасним вимогам до продуктивності, енергоефективності, конструктивної простоти, надійності та безпеки експлуатації, а також могла бути адаптована для впровадження на підприємствах малого та середнього бізнесу. Передбачене технічне рішення має не тільки оптимізувати виробничі процеси, а й стати прикладом раціонального інженерного підходу до вирішення прикладних завдань у галузі машинобудування для легкої промисловості.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						7
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

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

1.1 Загальні відомості про механічні процеси

Механічні процеси є ключовим етапом у технологічних схемах виробництва харчових продуктів, особливо коли виникає потреба в подрібненні твердих матеріалів [3]. Метою подрібнення є зменшення розміру частинок для збільшення площі поверхні, що прискорює процеси розчинення, теплопередачі, масообміну та біохімічної взаємодії.

Процес подрібнення поділяється на дроблення (розмір частинок понад 5 мм) та помел (менше 5 мм). Стадії дроблення визначаються кінцевим розміром частинок: крупне (125–250 мм), середнє (30–125 мм), дрібне (3–20 мм). Помел, у свою чергу, класифікується як грубий (3–0,1 мм), тонкий (0,1–0,05 мм) та надтонкий (50–1 мкм). Основною характеристикою процесу є ступінь подрібнення – відношення початкового розміру частинок до кінцевого [4-5].

Вибір способу подрібнення залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу. Застосовуються методи роздавлювання, розколювання, розтирання, удару, згинання тощо. У практиці часто комбінують ці методи для досягнення оптимального ефекту.

Руйнування матеріалу відбувається внаслідок дії зовнішніх сил та внутрішніх напружень і супроводжується утворенням тріщин. Крихке руйнування супроводжується незначною деформацією, а пластичне – значними змінами форми та тепловиділенням. Подрібнення в крихкому стані є енергоефективнішим.

Енергетичні витрати подрібнення залежать від [6]:

- 1) властивостей матеріалу (міцність, щільність, пластичність);
- 2) ступеня подрібнення (розмір і площа частинок);
- 3) способу подрібнення (характер зусиль – удар, стирання, різання);
- 4) умов подрібнення (вологість, температура, вібрація, тип обладнання).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						8
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Таким чином, ефективне подрібнення твердих матеріалів потребує врахування сукупності чинників і правильного вибору технологічного підходу.

1.2 Призначення і методи подрібнення

На сучасному етапі розвитку виробництва під процесом подрібнення розуміють послідовне виконання технологічних операцій, спрямованих на поступове зменшення розмірів твердих матеріалів від їх початкового стану до бажаних параметрів, які забезпечують подальше використання отриманого продукту в промислових процесах. Наприклад, у цементній промисловості вихідна сировина може надходити у вигляді масивних блоків із габаритами понад один метр, у той час як кінцевий продукт подрібнення повинен складатися з частинок, розмір яких не перевищує кілька сотих міліметра [7].

Подрібнення має широке застосування в таких галузях, як гірнична справа, де його використовують для збагачення корисних копалин, у металургії для підготовки шихти, в хімічній промисловості - для активації реагентів, у будівництві - для виготовлення в'язучих речовин, а також в багатьох інших сферах. У результаті подрібнення значно збільшується питома поверхня твердих тіл, що, в свою чергу, істотно прискорює хімічні, теплові та масообмінні процеси, в яких беруть участь ці матеріали. Наприклад, чим більшою є поверхня контакту між твердою та рідкою фазами, тим інтенсивніше відбувається процес розчинення, що є надзвичайно важливим у харчовій, фармацевтичній та інших галузях.

Процеси подрібнення відіграють ключову роль у численних харчових виробництвах: цукровому, борошномельному, пивоварному, м'ясопереробному, консервному, крохмале-патоковому та інших. Вони також широко використовуються у побуті - наприклад, у приготуванні їжі або переробці продуктів у домашніх умовах.

Методи подрібнення матеріалів суттєво відрізняються залежно від типу обладнання, конструктивних особливостей подрібнювальних машин та фізичних ха-

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						9
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

рактистик оброблюваної сировини. До основних способів подрібнення належать [8]:

Роздавлювання (рис. 1.1, а) - процес, при якому матеріал потрапляє між дві поверхні, що рухаються одна до одної, і подрібнюється внаслідок повільного збільшення тиску.

Удар (рис. 1.1, б) - дія на матеріал короткочасною силою, що реалізується ударами молотків, біля або самих частинок одна об одну чи об тверді поверхні.

Стирання (рис. 1.1, в) - зменшення розміру частинок завдяки тертю між робочими поверхнями обладнання або між самими частинками.

Розколювання (рис. 1.1, г) - подрібнення за допомогою дії клиноподібних інструментів, що спрямовані на утворення тріщин у матеріалі та його розщеплення.

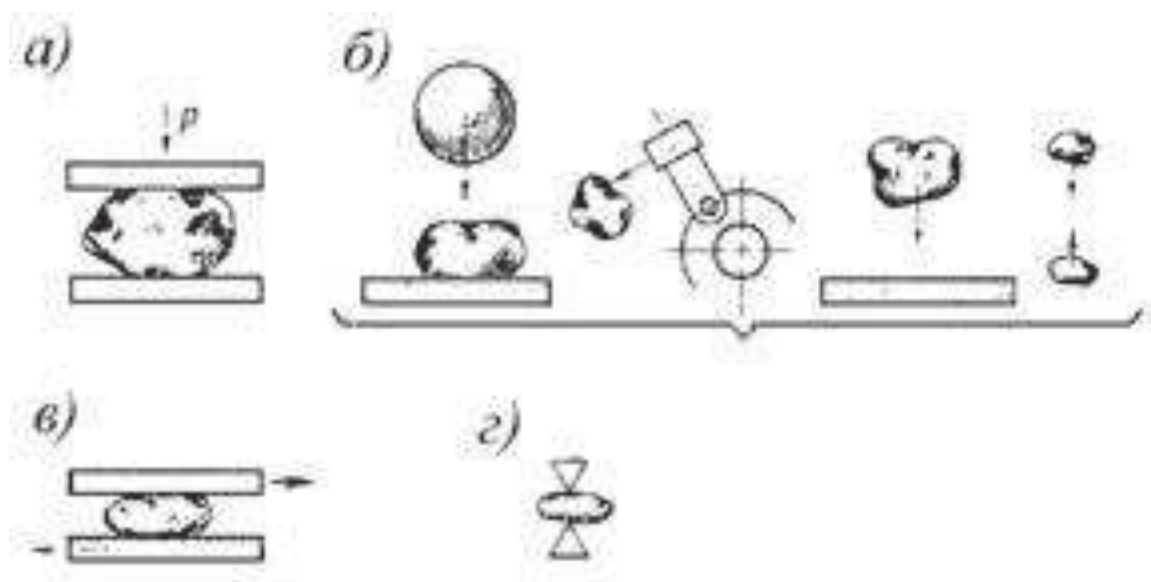


Рисунок 1.1 - Способи подрібнення матеріалів

Окрім традиційних механічних способів, в останні роки з'явилися альтернативні, фізико-технічні методи подрібнення, які ще знаходяться на стадії наукових досліджень. Серед них слід відзначити електрогідравлічне подрібнення, де в рідкому середовищі (переважно у воді) внаслідок раптового електричного розряду створюється потужна ударна хвиля, яка й руйнує матеріал. Також досліджуються інші перспективні способи - ультразвукове, гравітаційне, лазерне подрібнення. Їх

перевагою є відсутність фізичного контакту з матеріалом, що дає змогу обробляти надзвичайно тендітні або складні за структурою об'єкти.

Таким чином, сучасні підходи до подрібнення передбачають не лише вдосконалення класичних механічних методів, але й активне впровадження новітніх фізичних технологій, що мають потенціал для підвищення ефективності, зниження енерговитрат і розширення функціональних можливостей обладнання.

1.3 Типи обладнання для подрібнення матеріалів

Необхідність у подрібненні матеріалів, як у промисловості, так і в побутовому господарстві, спричинила активний розвиток технічних засобів і вдосконалення методів цього процесу. Подрібнення зазвичай виконується послідовно у кількох машинах, тому все обладнання класифікують за ступенем подрібнення: на дробарки (для грубого, середнього та дрібного дроблення) і млини (для тонкого або колоїдного подрібнення). Однак практичніше класифікувати машини за способом подрібнення, виділяючи шість основних типів: розколювальні і розламувальні, роздавлювальні, розтиральні-роздавлювальні, ударні, ударно-розтиральні та колоїдні [10-16].

Різноманітність фізико-механічних властивостей сировини, вимоги до однорідності, фракційного складу та форми частинок обумовлюють потребу в широкому спектрі конструкцій подрібнювачів. Одним із найпоширеніших типів подрібнюючих машин є щоківі дробарки, що відносяться до розколювально-роздавлювального класу. Вони застосовуються переважно для попереднього подрібнення твердих матеріалів, таких як будівельна сировина або вапняковий камінь у цукровому виробництві. Матеріал руйнується в результаті дії між нерухомою (1) і рухомою (3) щоками, які формують робочу камеру дробарки (рис. 1.2).

Рухома щока приводиться в дію через шатунний механізм. Під час обертання вала (5) з ексцентриком (6) шатун (10), з'єднаний із щокою через розпірні плити (15), виконує коливальні рухи у вертикальній площині. Це забезпечує зворотно-поступальний рух щоки навколо осі (4), внаслідок чого відбувається багатораз-

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						11
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

зове роздавлювання та розколювання матеріалу. Така кінематика дозволяє досягти високої ефективності подрібнення при мінімальних енергетичних затратах.

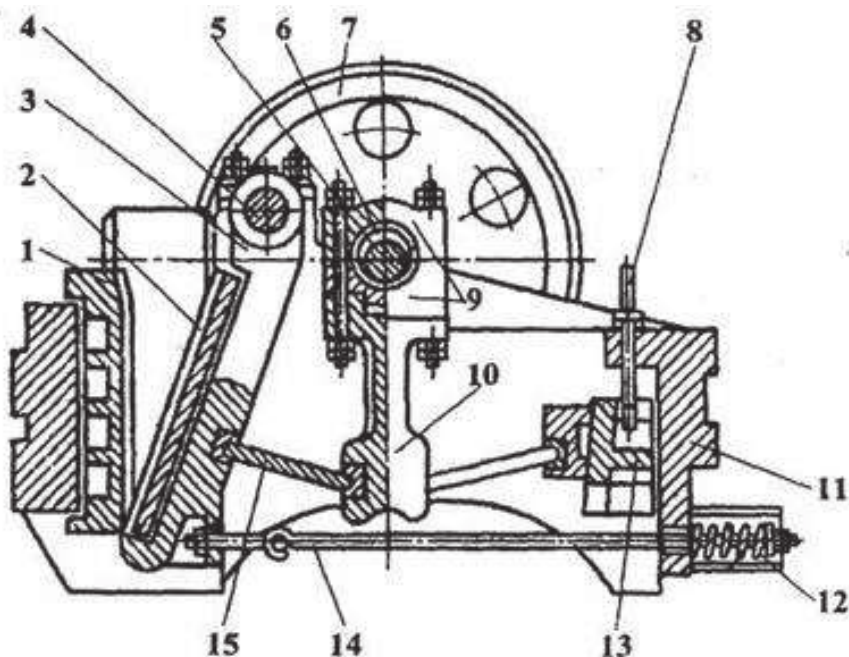


Рисунок 1.2 - Щокова дробарка

Матеріал для подрібнення надходить у верхню частину дробарки в зону між нерухомою та рухомою щоками. Під час робочого ходу, коли рухома щока наближається до нерухомої, відбувається руйнування частинок унаслідок стиснення. Під час холостого ходу, коли щока відводиться тягою з пружиною, подрібнений матеріал вивантажується через нижню щілину. Ширина цієї щілини, що визначає ступінь подрібнення, регулюється за допомогою клина та гвинтового механізму, змонтованого на станині. Робочі поверхні щок оснащено змінними плитами з високоміцного чавуну або марганцевої сталі з рифленням, що підвищує зносостійкість. Дробарка також має захист у вигляді розпирних плит зі зменшеним запасом міцності, які деформуються у разі перевантаження.

Обертання передається на щоку через вал, з'єднаний з маховиком, який забезпечує інерційність і рівномірність роботи дробарки. Кут між щоками, відомий як кут затягнення, суттєво впливає на ефективність подрібнення: при надмірному збільшенні цього кута частинки замість руйнування можуть виштовхуватись угору, знижуючи ефективність процесу. Продуктивність щокової дробарки значною

						БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			12

мірою залежить від частоти коливань рухомої щоки. За надто великої частоти матеріал не встигає вивантажуватись, а за надто низької — зменшується кількість подрібнювальних циклів.

Щокові дробарки відзначаються простотою конструкції, компактністю та надійністю. Однак наявність холостого ходу та великих зворотно-поступальних мас призводить до шуму й вібрацій.

Конусні дробарки, на відміну від щоківих, працюють у безперервному режимі. Вони складаються з двох конусів: нерухомого зовнішнього і рухомого внутрішнього. Внутрішній конус обертається ексцентрично відносно зовнішнього, стискаючи матеріал у робочому зазорі. Подрібнення відбувається за рахунок одночасної дії стиснення та зсуву. Незважаючи на високу продуктивність, конусні дробарки рідко застосовуються у переробній промисловості через складність конструкції й обмежене призначення.

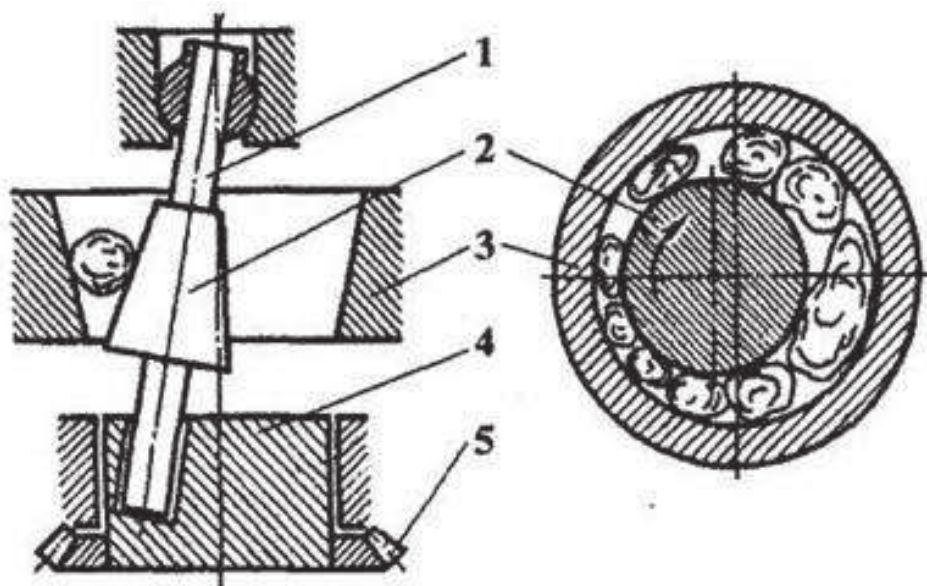


Рисунок 1.3 - Конусна дробарка

Дробарки розтирально-роздавлювальні

До цього класу належать валкові дробарки і бігуни. Серед них найбільш поширені валкові дробарки, в яких подрібнення здійснюється роздавлюванням матеріалу між двома обертовими валками. Як показано на рисунку 1.4, валки (3) змонтовані на станині (4) у підшипниках — один з яких є нерухомим (5), а другий

(7) може переміщуватись у горизонтальній площині. Це дозволяє змінювати та встановлювати за допомогою прокладок (6) потрібну ширину зазору між валками відповідно до необхідного ступеня подрібнення.

Для забезпечення стабільного тиску і захисту від перевантаження застосовуються пружини (8), що діють на рухомий підшипник. Вони запобігають пошкодженню дробарки у випадку потрапляння твердих або металевих предметів у зону подрібнення. Матеріал подається зверху через бункер (2) та рівномірно розподіляється по довжині валків. Під час обертання валків назустріч один одному шматки сировини захоплюються і подрібнюються. Це забезпечується тим, що сили зтягування переважають сили виштовхування. Ефективність зтягування частинок у щілину між валками залежить від кута зтягнення, який розраховується аналогічно до щоккових дробарок і повинен бути в межах оптимального значення.

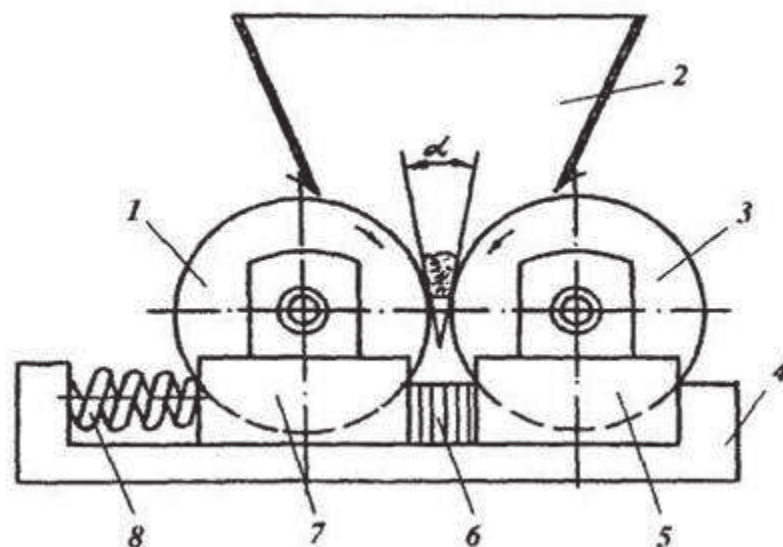


Рисунок 1.4 - Валкова дробарка

Валкові дробарки широко застосовуються для середнього та тонкого дроблення в багатьох галузях харчової промисловості, зокрема у виробництві борошна, круп, спирту, солоду, консервів, какао, рослинної олії. Для підвищення ступеня подрібнення у конструкції використовують декілька пар валків, зменшуючи зазор між ними у напрямку переміщення матеріалу. Наприклад, млини для какао можуть мати 3–8 валків. Різноманітність конструкцій досягається за рахунок варіацій кількості валків, профілю рифлів і способу їхнього розміщення. Для очищен-

						БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			14

ня гладеньких валків використовують ножі, а рифлених – щітки (рис. 1.4, позиції 3, 6, 8).

Процес різання застосовують для отримання частинок заданої форми, розміру або для утворення нових поверхонь. Він поширений у харчовій промисловості – консервній, цукровій, м'ясопереробній, хлібопекарській тощо – і використовується для обробки овочів, м'яса, кондитерських мас. Різання відбувається за рахунок впливу ножа, який створює локальний тиск, достатній для руйнування продукту. Можливе різання у вільному або стиснутому стані матеріалу.

Існують два основні типи різання [17]:

- рубанням – при поступальному русі ножа;
- ковзанням – коли лезо переміщується відносно матеріалу.

Коефіцієнт ковзання K визначає співвідношення дотичної швидкості до нормальної. При $K = 0$ маємо чисте рубання, при $K > 0$ – ковзне різання. Зі збільшенням K поліпшується чистота зрізу, але зростають витрати енергії та час процесу. У харчовій промисловості швидкість ножа зазвичай становить 1–100 м/с, швидкість подачі – 0,001–0,1 м/с.

Згідно з теорією П. А. Ребіндера, енерговитрати на різання розподіляються:

- на утворення нової поверхні;
- на деформації (пружні та пластичні);
- на подолання тертя.

До 85% енергії витрачається на необоротні втрати (тепло). Через велику кількість впливових чинників (властивості продукту, параметри різального органу, режими обробки) аналітичний розрахунок зусиль різання ускладнений.

Зосереджене різання полімерів реалізовано в роторних ножових подрібнювачах (рис.1.5). У них три ножа закріплені на масивному роторі, а два – нерухомо на корпусі обладнання.

Для автоматизованого різання еластомерів використовують стрічкові лучкові пили, а для попереднього подрібнення — валкові машини з ріжучими дисками різної форми (рис. 1.6).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		15

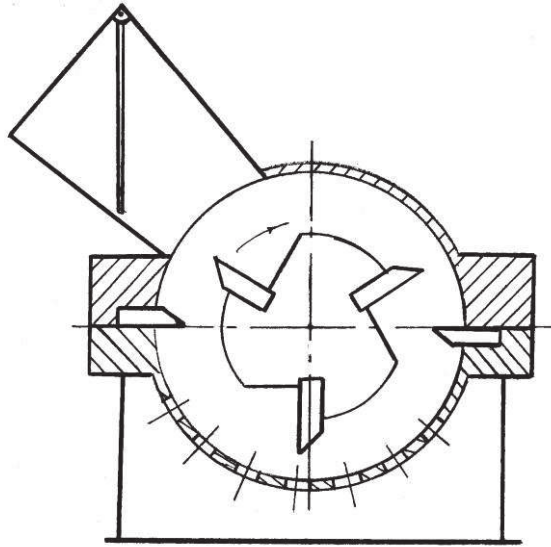


Рисунок 1.5 - Роторний ножовий подрібнювач полімерів

Двобічне подрібнення дозволяє підвищити ефективність. У подрібнювачах ударної дії матеріал руйнується внаслідок удару, що передає кінетичну енергію часткам, які деформуються або дробляться. Удар може бути стисненим (між двома поверхнями) або вільним (в польоті).

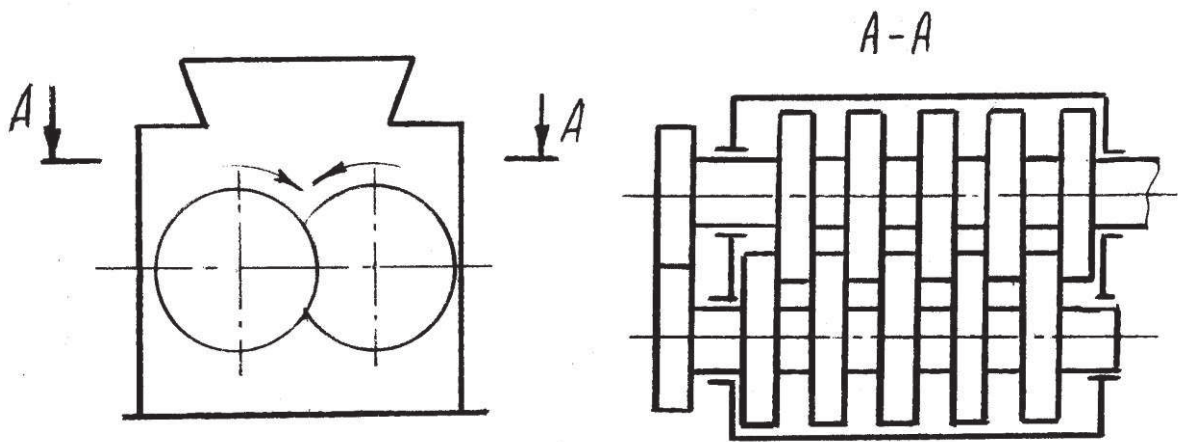
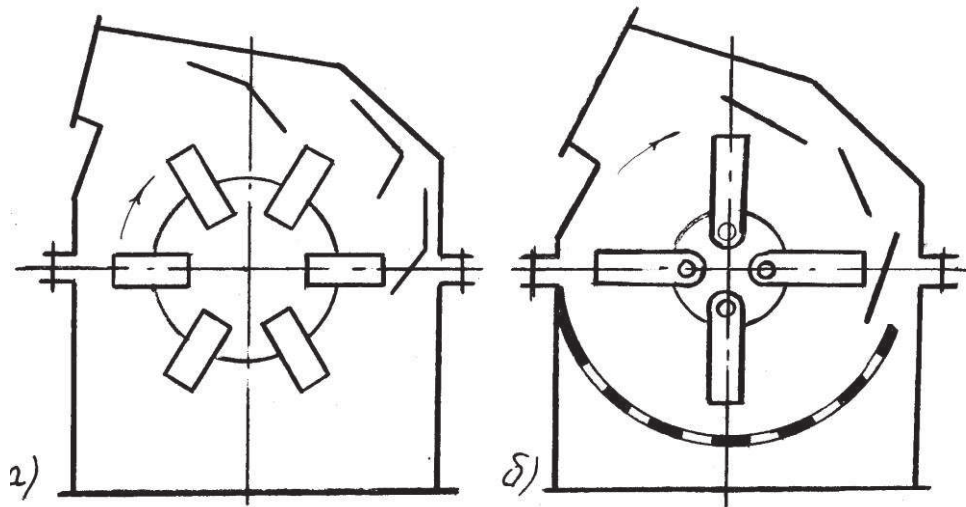


Рисунок 1.6 - Дисковий подрібнювач ріжучої дії

До ударного обладнання належать роторні подрібнювачі з жорстко закріпленими білами (рис. 1.7, а) і молоткові подрібнювачі, де удари наносять підвісні молотки (рис. 1.7, б) [10-14]. Також сюди відносять дезінтегратори, дисмембратори, струменеві млини тощо. Роторні машини ефективні при подрібненні вулканізаторів, проте не використовуються на етапі грубого подрібнення через ризик пе-

										Лист
										16
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						

ревантажень. Основним недоліком є нагрів матеріалу і високі енерговитрати. Для зниження температури подрібнення використовують воду або попереднє набування у розчинниках, але ці методи малопоширені через потребу у сушінні.



а – роторна, б - молоткова

Рисунок 1.7 - Подрібнювачі полімерних матеріалів ударної дії:

Інший метод - пресування гум у камері високого тиску (рис. 1.8), де матеріал подрібнюється проходженням крізь отвори. У млинах стираючороздавлювальної дії (дискових, шнекових, валкових) поєднуються стиснення і зсув.

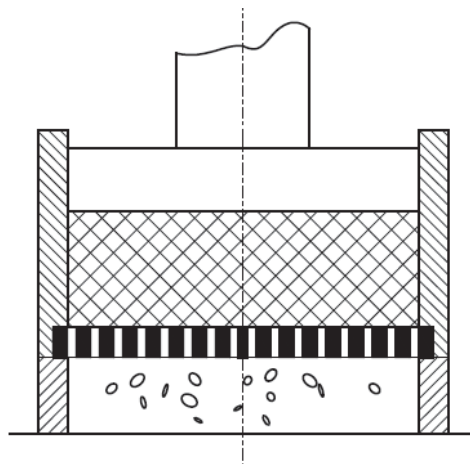


Рисунок 1.8 - Камерний подрібнювач гумових відходів

Дискові млини (рис. 1.9) оснащені охолоджуваними дисками із зубцями, один з яких обертається.

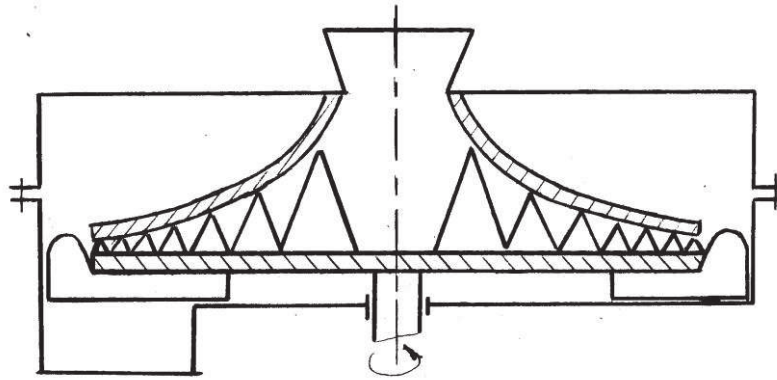


Рисунок 1.9 - Диска млин для подрібнення гуми

У Японії застосовують роторні машини з яйцеподібним ротором, що подрібнює гуму в камері, утворюючи до 600 кг крупної та 400 кг дрібної крихти з 1000 кг сировини. Регулювання розміру здійснюється відкриттям випускного отвору.

Валкові подрібнювачі (рис. 1.10, 1.11) бувають одно-, дво-, три- і чотиривалкові, з поверхнями різної форми: гладкі, рифлені, зубчасті. Їх робоча частина може мати циліндричну, конічну, тороподібну або комбіновану форму. Вони забезпечують роздавлювання та зсув при проходженні матеріалу між валками. Простота конструкції, можливість регулювання зазору і відкритий тип подачі зробили ці пристрої популярними в Україні, США та інших країнах.

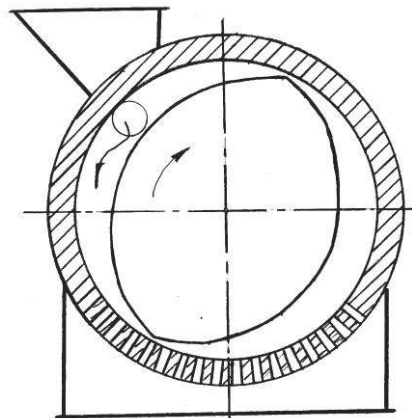


Рисунок 1.10 - Роторний млин для грубого подрібнення відходів гуми

Для підвищення продуктивності застосовують технологічні та конструктивні прийоми. Також застосовують пружно-деформаційне подрібнення - введення пружної енергії в матеріал під тиском зі зсувом. Цей процес реалізується у шне-

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		18

кових пристроях (рис. 1.12), де матеріал подається в роторну головку через гвинтовий шнек. Такий спосіб називають екструзійним подрібненням.

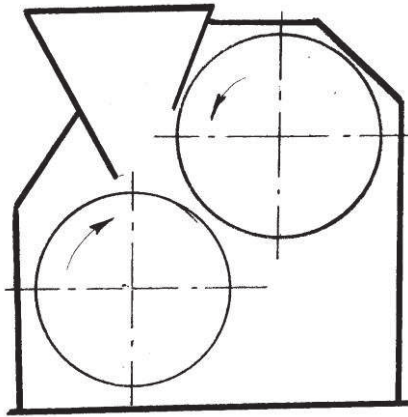


Рисунок 1.11 - Валкова машина для подрібнення гумових відходів

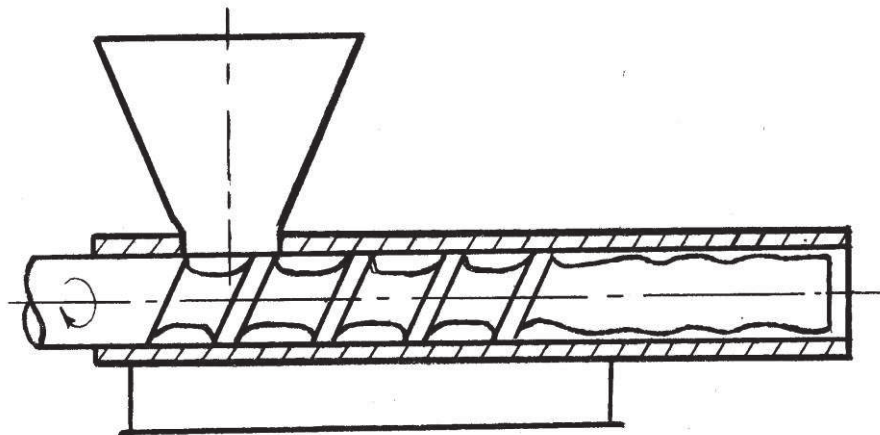


Рисунок 1.12 - Черв'ячний пристрій для подрібнення еластомерів

1.4 Патентні рішення щодо конструкцій подрібнювачів [18]

Конструктивні рішення, що представлені у вигляді патентованих моделей обладнання для подрібнення, зображені на листі [БРМА25.00.00.000ДО]. У цьому розділі подано огляд типових зразків машин, що реалізують різні принципи подрібнення: вільний удар, стирання, комбіновану дію та інтенсивну циркуляцію частинок у потоці.

1.4.1 Дезінтегратори

Дезінтегратор належить до обладнання ударної дії, у якому подрібнення матеріалу здійснюється на принципі вільного удару частинок.

Конструктивно пристрій складається з двох коаксіально встановлених циліндричних барабанів (позиції 1, 2), які обертаються в протилежних напрямках, кожен із яких змонтований на окремому приводному валу 3, закріпленому в підшипниках. Всередині кожного барабана змонтовано диски 4 з концентрично розташованими металевими пальцями 5. Ряди пальців одного барабана взаємно протикають між рядами пальців іншого барабана. Матеріал подається через центральний завантажувальний отвір 6, звідки потрапляє в зону інтенсивного механічного впливу.

При русі барабанів пальці, що обертаються назустріч один одному, створюють зону численних ударів. Чим більша кількість рядів пальців (зазвичай 2–4), та вища швидкість обертання, тим вищий ступінь подрібнення.

Переваги дезінтегратора:

- можливість досягнення надтонкого помолу;
- проста конструкція;
- висока продуктивність при компактних розмірах.

Недолік: значний знос ударних елементів (пальців), що потребує частого технічного обслуговування.

1.4.2 Млин для зерна (роторного типу)

Цей млин призначений для подрібнення зернової сировини у комбикормовій промисловості. Він функціонує на основі повторного ударного впливу між ротором та корпусом.

Зерно надходить через патрубок 10 у внутрішню частину ротора 6, де знає багатократних ударів від виступів 7 корпуса 8 і ротора. Подрібнені зерна, які проходять крізь встановлений зазор, виводяться через розвантажувальний патру-

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		20

бок. Для продовження ресурсу роботи конструкція передбачає обертові елементи (виступи) корпусу, що мають чотири робочі грані. Після зносу кожної грані елементи повертаються на 90°, що дозволяє використовувати усі сторони без заміни всього блока.

Переваги:

- збільшений експлуатаційний ресурс;
- зменшене утворення пилу;
- покращення гранулометричного складу корму.

Недолік: не призначений для тонкого помолу (наприклад, виробництва борошна).

1.4.3 Роторний млин із пружними елементами

Принцип дії цього роторного млина заснований на багатократних ударах і стиранні матеріалу між виступами ротора 4 (позиція 3) та пружними пластинами 5, розташованими по периметру обичайки 6. Матеріал подається через патрубок 2, зазнає ударів, потрапляє у вихрові потоки, що створюються в зоні дії планок біля каналів 10.

Додаткове засмоктування повітря інтенсифікує подрібнення за рахунок мікротурбулентних ефектів і охолоджує як матеріал, так і ударні елементи.

Переваги:

- активне самостирання частинок;
- покращене охолодження робочої зони.

Недолік: не забезпечує отримання продукту з високим ступенем подрібнення.

1.4.4 Комбінований пристрій для подрібнення матеріалів

Цей пристрій призначений для обробки як твердих, так і пастоподібних матеріалів, і реалізує комбіновану дію: стирання, удар, перемішування.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		21

Після вмикання приводу 17 диски 20 починають обертатись у зустрічних напрямках. Матеріал подається по жолобах 19 на внутрішню частину чашоподібних дисків, де під дією відцентрових сил притискається до стінок і зазнає стирання. При подальшому русі матеріал натрапляє на нерухомі похилі лопаті, внаслідок чого він переміщується до іншого диска, де піддається подальшому подрібненню. Матеріал стирається між зустрічно обертовими потоками та поверхнями, після чого вивантажується при зменшенні швидкості обертання і розширенні зазору.

Переваги:

- багатофункціональність (подрібнення, перемішування, обробка в потоці);
- висока ефективність стирання.

Недолік: складна конструкція та прискорений знос робочих поверхонь.

1.5 Огляд матеріалів легкої промисловості, які можна подрібнювати [19]

Легка промисловість України є багатогалузевим виробничим комплексом, що забезпечує населення текстильною продукцією, одягом, взуттям, шкіряними та трикотажними виробами. Проте технологічні процеси у цих галузях неминуче супроводжуються утворенням значних обсягів виробничих відходів. З огляду на зростаючу потребу у раціональному ресурсокористуванні, такі відходи доцільно розглядати як вторинну сировину, що підлягає подальшій переробці шляхом механічного подрібнення.

Серед усіх підгалузей легкої промисловості найбільш придатними до подрібнення є відходи взуттєвого та шкіряного виробництв.

Відходи взуттєвого виробництва

В основному формуються на етапах розкрою матеріалів для верху і низу взуття. До них належать обрізки натуральної шкіри (юхтові, сирицеві, пергаментні), штучних шкір, текстилю, пористої і монолітної гуми, картону та термопластичних полімерів.

Способи подрібнення включають різання (роторні ножові дробарки), стирання (екструдери) і ударну дію (дезінтегратори). Подрібнені полімерні та гумові

						БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата			22

відходи використовують у складі сумішей або як наповнювачі для виробництва нових полімерних і гумових матеріалів.

Відходи шкіряного виробництва

Утворюються при переробці шкур тварин та під час виготовлення галантерейних виробів - рукавиць, ременів, сумок тощо. Сюди відносяться обрізки шкіри, підкладкові та прокладкові матеріали, бракована фурнітура. Для їх переробки застосовують:

- різання (роторні ножові дробарки);
- удар (роторні молоткові подрібнювачі);
- розволокнення (голко-фрезові машини).

Отриманий матеріал може слугувати наповнювачем композиційних матеріалів або самостійною вторинною сировиною.

Критерії вибору способу подрібнення

До основних параметрів належать фізико-механічні властивості сировини, необхідна ступінь дисперсності, енергоспоживання процесу та продуктивність обладнання.

Схему вибору способу подрібнення відповідно до типу матеріалу подано на рис. 1.13.

Раціональне застосування методів подрібнення

Найбільш поширеним і економічно доцільним методом є різання, що забезпечує ефективне руйнування матеріалу з мінімальними енергетичними витратами. Воно може здійснюватися ріжучими пресами, гільйотинами або роторними дробарками. Успішна реалізація механічного подрібнення дозволяє підприємствам скоротити витрати на сировину та зменшити навантаження на навколишнє середовище шляхом зменшення обсягів звалищ.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		23

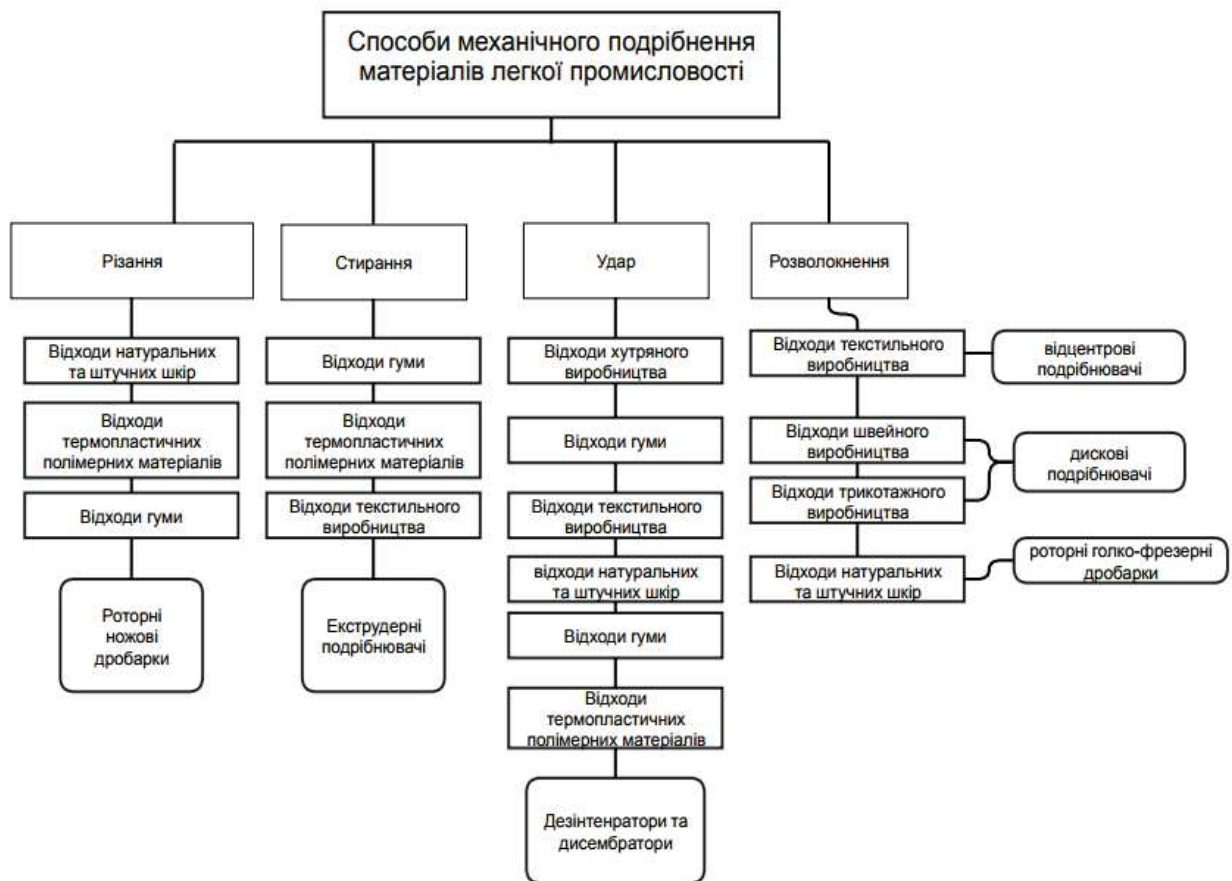


Рисунок 1.13 – Схема способів подрібнення матеріалів легкої промисловості

Матеріали, придатні до подрібнення на дискових гарнітурах:

- гранули термопластичних смол (для лиття або екструзії);
- полімерна крихта (ПВХ, поліетилен) - сировина для покриттів і штучної шкіри;
- пігментні зерна - для барвників і фарб;
- порошкоподібні кислоти й солі (галун, сульфати) - для текстильної обробки.

Таким чином, легка промисловість формує широке коло матеріалів, що підлягають подрібненню, а застосування відповідного обладнання дозволяє інтегрувати ці відходи у замкнуті виробничі цикли як цінну вторинну сировину. Базовими параметрами для вибору подрібнювача залишаються ступінь помелу та економічність процесу.

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі було здійснено системний огляд теоретичних основ механічного подрібнення, класифікацій способів руйнування матеріалів, типів подрібнювачів і відповідного обладнання, що використовується в сучасних галузях промисловості.

Механічні процеси подрібнення є базовими технологічними операціями, що широко застосовуються в харчовій, хімічній, будівельній, гірничій та інших галузях. Основною метою подрібнення є зменшення розмірів частинок з одночасним збільшенням їх питомої поверхні для покращення масообміну, теплопередачі та біохімічних реакцій.

Способи подрібнення поділяються за типом механічного впливу: роздавлювання, удар, стирання, різання, розколювання та їх комбінації. Різання є одним з найбільш ефективних способів руйнування для матеріалів з невеликою товщиною, що підтверджено як у промислових, так і побутових умовах.

Типи подрібнювачів класифікуються як за ступенем подрібнення (дробарки, млини), так і за принципом дії. Розглянуто конструктивні особливості щокочових, конусних, валкових, молоткових, роторних і дискових подрібнювачів, включаючи модифіковані конструкції з пружно-деформаційним або екструзійним механізмом дії.

Окрему увагу приділено патентним рішенням, які демонструють різноманітність конструкцій та інженерних підходів: дезінтегратори, роторні млини з пружними елементами, комбіновані установки для подрібнення різнофазних матеріалів. Їх аналіз засвідчив високий рівень технологічної адаптивності обладнання до обробки специфічних сировинних потоків.

Проведено огляд матеріалів легкої промисловості, які піддаються подрібненню. До них віднесено відходи взуттєвого, шкіряного та текстильного виробництва, що можуть бути ефективно перероблені з використанням механічного подрібнення. Показано, що впровадження переробки таких відходів не лише сприяє

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		25

зниженню навантаження на довкілля, але й дозволяє отримати цінну вторинну сировину.

Сформульовано основні критерії вибору обладнання: ступінь подрібнення, фізико-механічні властивості матеріалу, енерговитрати, продуктивність, можливість автоматизації та ресурс роботи.

Таким чином, результати аналізу підтверджують необхідність вдосконалення технологій механічного подрібнення та розробки ефективного пристрою, що враховуватиме як енергетичну доцільність, так і здатність працювати з відходами різного походження, зокрема твердими полімерними та шкіряними матеріалами, що актуально для легкої промисловості.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		26

2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Розробка компоновки обладнання для подрібнення матеріалів [20-21]

Розробка компоновки обладнання для подрібнення матеріалів є ключовим завданням при проектуванні технологічних ліній, що забезпечують подрібнення твердих тіл до необхідних фракцій для подальшого використання у виробничих процесах. Успішне вирішення цього завдання дозволяє створити технічно досконале та ефективне обладнання, яке враховує особливості властивостей сировини, умови експлуатації, необхідну продуктивність та вимоги до кінцевого продукту.

Компоновка обладнання передбачає визначення оптимального розміщення вузлів, агрегатів, робочих органів і передавальних механізмів у просторі, що впливає на габарити пристрою, його технологічну гнучкість та зручність в обслуговуванні. Крім того, правильне компонування дозволяє забезпечити належний рівень віброізоляції, охолодження вузлів, рівномірність подавання матеріалу, а також безпечну роботу оператора.

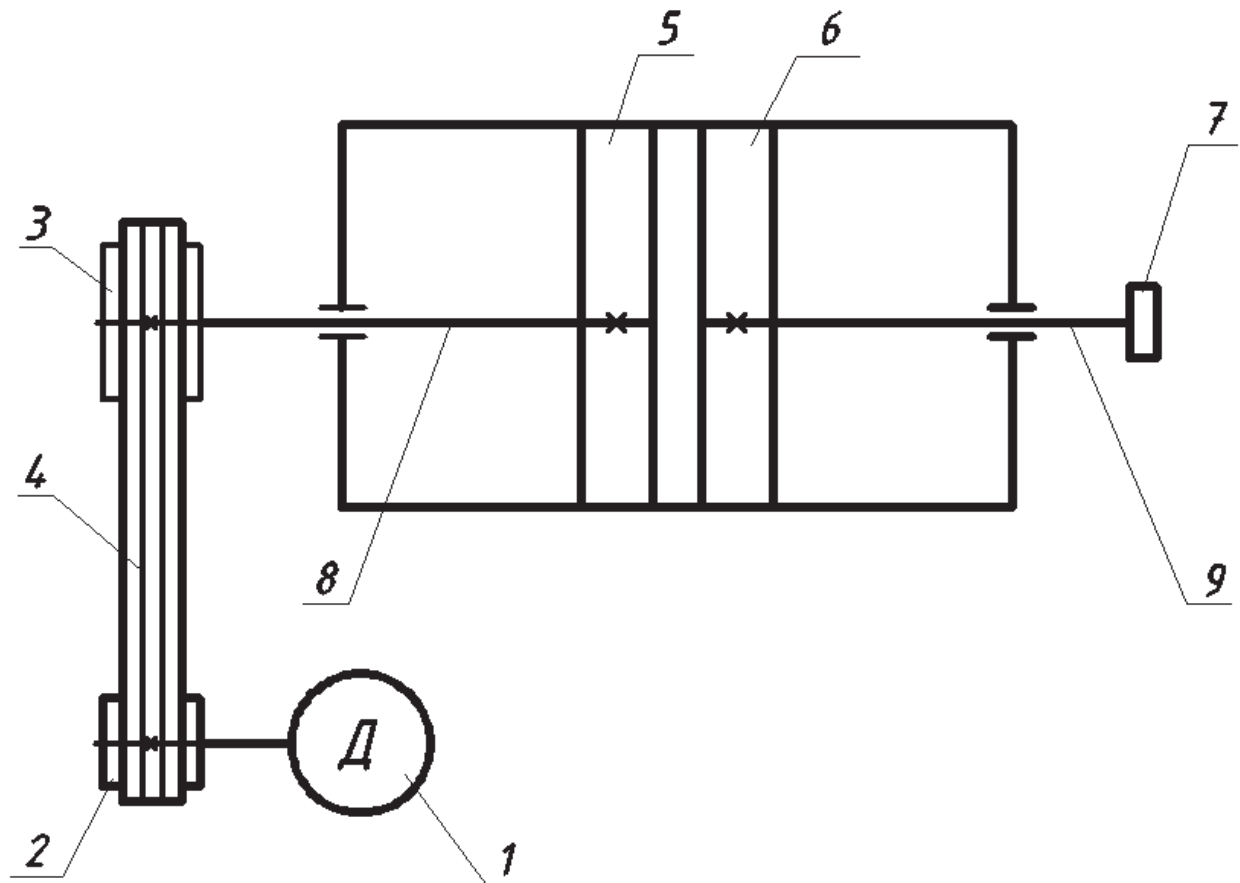
Особливої уваги потребують питання розміщення електроприводу, трансмісійних елементів, регулювальних механізмів та механізмів вивантаження подрібненого продукту. Врахування цих чинників дозволяє зменшити енергоспоживання, підвищити зносостійкість основних елементів і знизити рівень шуму при роботі пристрою. У разі необхідності автоматизації процесу подрібнення, компоновка повинна також передбачати місця для встановлення датчиків, систем керування і захисту.

Таким чином, розробка компоновки не є другорядною задачею – це один з основних етапів інженерного проектування, що безпосередньо впливає на експлуатаційні характеристики обладнання та його придатність до інтеграції у сучасні виробничі комплекси.

Конструкція пристрою для подрібнення матеріалів представлена на рисунку .1 (аркуш [БРМА25.00.00.000С2]).

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		27

Оснoву механізму становить приводна система, що включає електродвигун 1, з'єднаний із ведучим шківом 2. Обертання від двигуна передається через клинопасову передачу 4, яка включає комплект клинових пасів та ведений шків 3. Така система забезпечує зниження частоти обертання при збереженні достатнього обертового моменту на робочому валу 8.



1 – електричний двигун; 2 - шків ведучий; 3 - шків ведений; 4 - паси клинові; 5 – подрібнюючий елемент рухомий; 6 – подрібнюючий елемент притискаючий; 7 - рукоятка гвинта;
8 - ведучий вал; 9 - гвинт

Рисунок 2.1 - Кінематична схема пристрою для подрібнення:

На валу 8 закріплене рухомий подрібнюючий елемент 5, яке обертається разом з валом і виконує основну подрібнювальну функцію шляхом стирання матеріалу. Навпроти нього розміщено притискний подрібнюючий елемент 6, яке вста-

новлене нерухомо відносно осі обертання, але може переміщуватись у осьовому напрямку за допомогою регулювального гвинта 9, що обертається рукояткою 7.

Зміною положення притискного подрібнюючого елемента 6 оператор може точно встановити зазор між подрібнюючими елементами в залежності від фракції подрібнюваного матеріалу та бажаного ступеня помелу. Таким чином, конструкція забезпечує гнучкість налаштувань і дає можливість адаптувати пристрій до різних типів твердих органічних чи неорганічних матеріалів.

Компоновка є простою та надійною, що сприяє зручності в експлуатації та технічному обслуговуванні. Подрібнюючі елементи можуть бути виконані зі зносостійких матеріалів - наприклад, чавуну з легуванням або карбідовмісних сплавів, що значно підвищує ресурс пристрою при роботі з абразивними матеріалами.

2.2 Принцип дії та конструктивні особливості пристрою для подрібнення

Пристрій для подрібнення твердих матеріалів (лист [БРМА25.00.00.000В3]) призначений для використання в умовах дрібносерійного або індивідуального виробництва, зокрема в галузі легкої промисловості, де виникає потреба у переробці сировини з метою отримання дрібнодисперсного продукту.

Принцип роботи пристрою полягає у механічному руйнуванні вихідного матеріалу в робочій зоні шляхом стискання та зсуву між двома подрібнюючими елементами - нерухомим і обертовим. Завантаження вихідної сировини здійснюється через завантажувальний бункер 3. Матеріал потрапляє в отвір 11, розміщений у центрі нерухомого подрібнюючого елемента 7, далі – у робочий циліндр 2, де спрямовується до робочої зони подрібнення 12.

Подрібнення матеріалу відбувається в зазорі між торцевими поверхнями двох жорен. Обертовий подрібнюючий елемент 5, встановлено на валу, оснащено нарізними зубцями спеціальної форми з кутами заточування, які забезпечують ефект самозахоплення та ефективного руйнування матеріалу. Після подрібнення продукт направляється вниз по лотку 10 до розвантажувальної зони, звідки потрапляє у приймальну тару.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						29
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Конструктивно пристрій (лист [БРМА25.00.00.000В3]) складається з таких основних елементів: зварної рами 1, робочого циліндра 2, бункера 3, системи передачі обертального моменту, а також пари жорен - рухомого 5 і нерухомого 7. Привід пристрою реалізується від електродвигуна 22 через клинопасову передачу 21, яка з'єднує ведучий шків 6 з веденим шківом 7, встановленим на валу 14. Вал обертається в підшипниках кочення 13, що змонтовані в корпусі робочого циліндра 2.

Обертовий подрібнюючий елемент 6 жорстко закріплений на фланці 10 за допомогою шпонки 30. Нерухомий подрібнюючий елемент 7 фіксується на фланці 9, який може переміщуватись уздовж осі циліндра завдяки обертанню рукоятки 16, вмонтованої в кришку 8, за різьбовим з'єднанням. Це дозволяє точно регулювати зазор між подрібнюючими елементами, забезпечуючи необхідну ступінь подрібнення.

З метою запобігання прослизанню пасів у канавках шківів передбачено на-тяжний пристрій 4. Для зручності експлуатації також передбачена заслінка у бун-кері для контролю подачі матеріалу. У випадку зносу ріжучих поверхонь подріб-нюючого елемента можуть бути замінені на нову пару з іншим профілем заточу-вання.

Подрібнюючі елементи виготовляються з інструментальної сталі марки У8А згідно з ГОСТ 1133–71, що забезпечує високу твердість та зносостійкість. Компа-ктні габарити та відносно мала маса конструкції дозволяють легко транспортува-ти пристрій у межах виробничого приміщення.

Збірне креслення робочого циліндра пристрою представлено на листі [БРМА25.01.00.000СК], а конструкція рами - на листі [БРМА25.02.00.000СК].

2.3 Вибір робочих органів подрібнювача

Подрібнююча гарнітура є основним робочим органом дискового подрібню-вача, призначеним для здійснення прямого механічного впливу на матеріал під час його руйнування та подальшої обробки.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						30
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Робоча поверхня гарнітури характеризується кількістю, розмірами, формою та розташуванням ріжучих елементів - ножів, канавок або секторів. У сучасних дискових подрібнювачах, зазвичай використовуються змінні подрібнюючі елементи, виконані у вигляді сегментів. Ці елементи виготовляються переважно методами точного лиття (так звана литтєва гарнітура) або шляхом механічної обробки зі сталі, чавуну, інструментальних сплавів, а в окремих випадках - з використанням тврдосплавних або алмазовмісних матеріалів.

Для обладнання середньої потужності застосовуються дискові ножові гарнітури у вигляді монолітних цільних дисків з інтегрованими ножами (рис. 2.2).

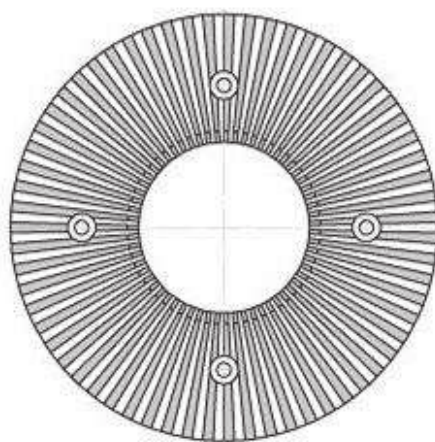


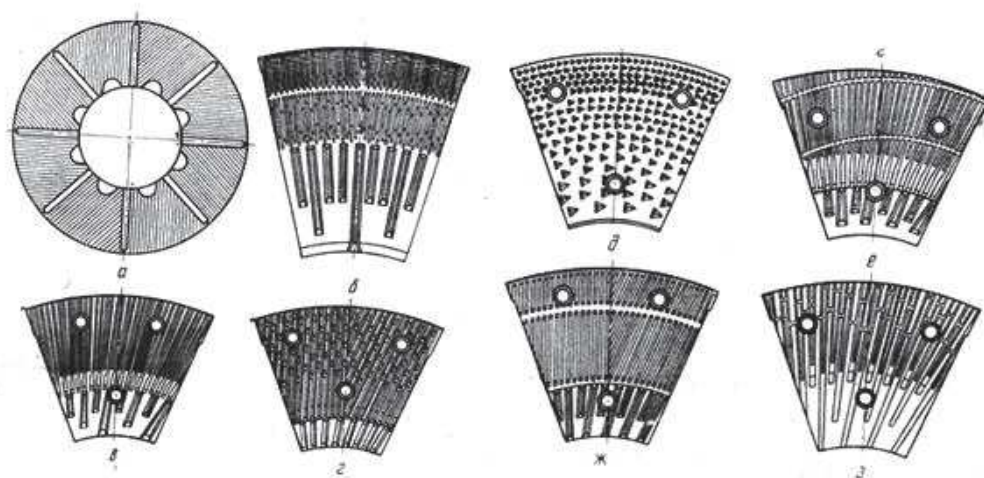
Рисунок 2.2 - Подрібнююча гарнітура отримана шляхом нарізування ножів на цільних дисках

Вони мають плоску робочу поверхню з фіксованими геометричними характеристиками, які не підлягають зміні під час експлуатації. Зокрема, до таких параметрів належать кут встановлення ножів відносно радіуса, геометрія канавок, а також форма й орієнтація ножів у секторі.

Для оптимізації подрібнення матеріалів, що мають волокнисту структуру, гарнітури виготовляються з різною орієнтацією ножів. На рис. 2.3 наведено типові схеми їхнього розміщення: радіальні, паралельні, схрещені тощо. Наприклад, конфігурація ножів типу (рис. 2.3, а, г) забезпечує найкраще співвідношення між рівномірністю зносу робочої поверхні, пропускною здатністю та ефективністю

подрібнення. При цьому, схема (рис. 2.3, б) із трьома зонами подрібнення підходить для глибокої дезінтеграції матеріалу.

Для подрібнення грубих або жорстких залишків, а також у випадках низької продуктивності доцільно застосовувати схеми, зображені на рис. 2.3, е, г. Ефективність гарнітури при цьому підвищується за рахунок наявності перегородок у каналах подачі, які створюють перешкоди швидкому проходженню матеріалу та подовжують його шлях у робочій зоні. Зазвичай такі перегородки виконуються по спіралі для зменшення локального зносу поверхні та стабілізації процесу обробки.



- а – нарізна з цільних дисків; б - для подрібнення маси з високою концентрацією; в – радіальна; г – з паралельно розміщеними ножами; д - шиповидна; е- радіальна з спіралью розміщеними перемичками; ж – з паралельно розміщеними ножами і роздільною канавкою; з – радіальна з перемичками для попереднього подрібнення

Рисунок 2.3 - Подрібнююча гарнітура для дискових подрібнювачів:

Особливе значення має напрямок подачі матеріалу та створення ударного ефекту в подрібнюючій зоні. Дослідження показують, що волокнисті матеріали найкраще руйнуються в поздовжньому напрямку. Тому конструкції з радіально розміщеними ножами забезпечують інтенсивніший розрив волокон і утворення мікрОВОЛОКОН, що є важливим етапом для підготовки вторинної сировини.

Кінцева якість подрібнення залежить від таких технологічних параметрів, як:

- тривалість перебування матеріалу в зоні подрібнення;
- сила натиску ріжучих елементів;
- відстань між ножами ротора і статора;
- властивості сировини (волокниста, ламка, еластична структура).

Таким чином, використання дискової ножової гарнітури з продуманою конфігурацією робочих сегментів дозволяє підвищити продуктивність подрібнювача, стабілізувати якість кінцевого продукту та адаптувати процес обробки під конкретні потреби. Це дає змогу повторно використовувати відходи виробництва для виготовлення нових виробів.

Для подрібнюючого обладнання, що розробляється одним із варіантів дискових робочих органів може бути гарнітура отримана шляхом нарізування ножів на цільних дисках (рис.2.4).

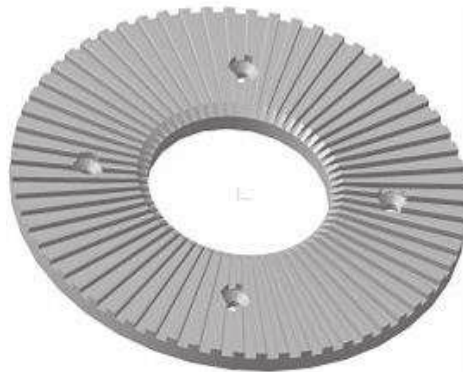


Рисунок 2.4 - Подрібнююча гарнітура

В легкій промисловості з використанням таких дисків можна подрібнювати сухі, ламкі, дрібнозернисті або зерноподібні матеріали, що має середню твердість, високу крихкість при стисканні й нееластичну структуру.

Перелік матеріалів легкої промисловості, які доцільно подрібнювати на таких дисках:

- висушені гранули термопластичних смол для подальшої екструзії або лиття;

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		33

- порошки ПВХ або поліетиленової крихти, що застосовуються для виготовлення штучної шкіри або покриттів;
- висушені пігменти у вигляді зерен для виготовлення фарб та барвників тканин;
- кислі або лужні солі (наприклад, галун або сульфати), що додаються до тканин при обробці тощо.

2.4 Розробка електричної схеми обладнання для подрібнення

Електричні схеми розробляються для наочного представлення функціонального зв'язку між усіма елементами електрообладнання [22]. Вони дають змогу правильно спроектувати систему живлення і керування, забезпечити її надійність, безпеку, зручність в експлуатації, налагодженні, ремонті та модернізації. Наявність детально продуманої електричної схеми є обов'язковою умовою для введення електромеханічного пристрою в експлуатацію, особливо якщо він має обертові частини, потужні електродвигуни чи працює у тривалому режимі.

Електрична принципова схема пристрою для подрібнення матеріалів наведена на рисунку 2.5 та на кресленні [БРМА25.00.00.000Е2]. Вона забезпечує запуск, зупинку і сигналізацію роботи приводу, що здійснює обертання жорен подрібнювача.

Живлення пристрою здійснюється від трифазної мережі змінного струму з лінійною напругою 380 В (фази А, В, С) через автоматичний вимикач QF1, який виконує функцію апарата ввімкнення та захисту. Далі напруга подається на головні силові контакти магнітного пускача КМ1, який керує увімкненням трифазного асинхронного двигуна М1. Двигун є основним виконавчим механізмом пристрою - він передає обертовий момент на обертовий подрібнюючий елемент, реалізуючи механічне подрібнення матеріалу.

У колі керування передбачені дві кнопки:

- SA1 - кнопка "Пуск",
- SA2 - кнопка "Стоп".

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						34
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

Це полегшує спостереження за станом обладнання оператором, знижуючи ймовірність помилок під час експлуатації.

Корпус двигуна заземлюється через клему ХЕ1, що забезпечує електробезпеку згідно з вимогами ПУЕ та стандартів з охорони праці. Така схема відповідає базовим нормам надійності та захисту від коротких замикань, перевантажень і неправильного вмикання.

Таким чином, електрична схема пристрою передбачає мінімальний, але достатній набір елементів для надійного й безпечного керування однофункціональним приводом подрібнювача, а її компоновка дозволяє швидко виявити несправність або провести технічне обслуговування без потреби знімати все обладнання.

2.5 Розробка конструкції обладнання для подрібнення

На основі створеної компоновочної схеми (лист [БРМА25.00.00.000С2]) була розроблена конструкція обладнання для подрібнення матеріалів [23, 24]. Такий пристрій може застосовуватись у лабораторних умовах, майстернях або на малих виробничих підприємствах легкої промисловості для подрібнення сировини різної твердості, зокрема полімерів.

Загальний вигляд розробленого пристрою наведений на рисунку 2.6.

Конструктивні компоненти та їх функції.

Рама (1) – основа всієї конструкції, виконана з кутиків та сталевого профілю прямокутного перерізу. Вона забезпечує жорсткість, стійкість та надійне закріплення всіх компонентів. Конструкція рами дозволяє витримувати вібраційні та динамічні навантаження, що виникають під час роботи подрібнювального механізму.

Подріблювальний барабан (2) – це корпусна частина, в якій розміщено два основні робочі органи – рухомий ніж (подрібнюючий елемент) та нерухомий ніж. Він слугує робочою камерою, в якій і відбувається подрібнення матеріалу. Барабан жорстко закріплений на рамі пристрою.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		36

подрібнюючого елементу. Передавальне відношення підбирається відповідно до типу подрібнюваного матеріалу та необхідної швидкості обертання.

Гвинтовий механізм регулювання зазору (7) – різьбове регулювальне з'єднання, яке забезпечує осьове переміщення нерухомого ножа. Зміною зазору між ножами можна регулювати ступінь подрібнення та фракційний склад готового продукту. Регулятор має рукоятку з ергономічним елементом для ручного керування (рис.2.7).

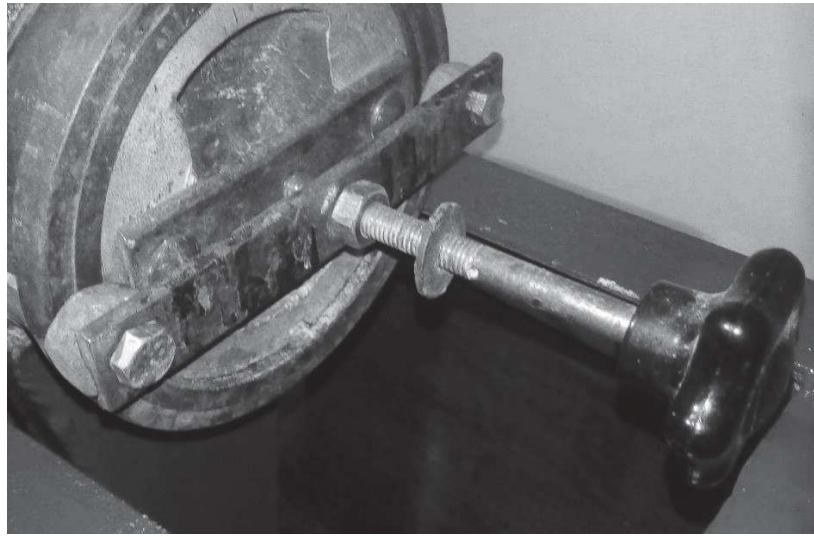


Рисунок 2.7 – Регулятор робочого зазору

Електродвигун (8) – трифазний асинхронний двигун потужністю 1,5–2,2 кВт, що забезпечує достатню швидкість обертання ротора подрібнювача. Двигун розміщено на нижній частині рами, в зоні захищеній від потрапляння подрібненого матеріалу.

Пускач-автомат (9) – електроапарат захисту, встановлений на передній частині рами. Він виконує функції захисту електродвигуна від перевантаження та короткого замикання, а також служить для увімкнення і вимкнення пристрою (див. електричну схему на рис.2.5 та лист [БРМА25.00.00.000Е2]).

Робочі органи пристрою

Нерухомий ніж зображено на рисунку 2.8. Він має фіксоване положення в корпусі подрібнювального барабана. На його торцевій поверхні розміщено радіа-

льні зубці з певним кутом нахилу, що забезпечує ефект самозахоплення та подрібнення матеріалу.



Рисунок 2.8 – Нерухомий ніж

Рухомий ніж (рис.2.9), прикріплений до обертового валу за допомогою фланця і шпонкового з'єднання. Конструкція ножа симетрична відносно осі обертання, що забезпечує балансування та зниження вібрації під час роботи.



Рисунок 2.9 – Рухомий ніж закріплений на роторі

Робочий циліндр (рис.2.10) – частина корпусу, в якому фіксуються ножі, підшипники валу та забезпечується герметичність і охолодження при подрібненні, якщо потрібно.



Рисунок 2.10 – Робочий циліндр

Регулятор робочого зазору (рис.2.8) – має різьбову частину, напрямну та штурвал. Його точне регулювання дає змогу адаптувати пристрій під різні види матеріалу.

Запропонована конструкція обладнання для подрібнення є технологічно простою, зручною в експлуатації, обслуговуванні та ремонті. Можливість швидкої заміни дискових робочих органів, регулювання ступеня помелу та наявність стандартних компонентів дозволяє адаптувати пристрій до широкого спектра задач.

2.6 Висновки до другого розділу

У другому розділі було здійснено комплексну інженерну розробку конструкції побутового пристрою для подрібнення матеріалів, який може застосовуватись у легкій промисловості - зокрема, у взуттєвому, швейному та текстильному виробництві. Представлене обладнання забезпечує високий рівень адаптивності до обробки сухих, ламких або гранульованих матеріалів, що використовуються як сировина або наповнювач при виготовленні виробів легкої промисловості.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		40

На основі розробленої компоновочної схеми було визначено оптимальне розташування функціональних вузлів обладнання: електродвигуна, передавальних елементів, подрібнюючих органів та механізму регулювання робочого зазору. Конструкція включає жорстку раму, робочий барабан із двома жорнами - рухомим та нерухомим, систему приводу, механізм подачі та електричну частину. Така архітектура забезпечує технологічну гнучкість, зручність в експлуатації та ремонтпридатність.

Особлива увага приділена конструкції робочих органів подрібнюючої гарнітури. Було проаналізовано декілька типів дискових ножів, що забезпечують варіативність подрібнення залежно від структури сировини. Зокрема, типові схеми орієнтації ножів дають змогу оптимізувати процес руйнування волокнистих, крихких та зернистих матеріалів. Використання змінних гарнітур дозволяє проводити технічне обслуговування без заміни всього вузла.

Було обґрунтовано доцільність використання пристрою для подрібнення таких матеріалів: гранул полімерів, порошків ПВХ, сухих пігментів, барвників, солей, волокнистих решток тощо - з подальшим застосуванням у текстильному та взуттєвому виробництві. Враховано вимоги до якості помелу, енергоспоживання, зношування та безпеки.

Електрична схема забезпечує безпечне, надійне та зручне управління роботою електродвигуна. Передбачено захист від перевантаження, індикацію стану роботи та можливість швидкого аварійного відключення.

Таким чином, у результаті розробки було створено універсальну, технологічно ефективну та адаптовану до потреб легкої промисловості конструкцію пристрою для подрібнення, яка може бути впроваджена як у малих виробництвах, так і в лабораторних умовах для підготовки сировини до вторинного використання або переробки.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		41

3 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ В ЛЕГКІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

3.1 Розрахунок потужності електричного двигуна

Розрахунок потужності електричного двигуна є важливим етапом під час проектування обладнання для подрібнення матеріалів. Він необхідний для забезпечення ефективної та надійної роботи пристрою в умовах навантаження, що виникає при руйнуванні твердих тіл. Вибір двигуна без урахування реальних силових характеристик може призвести до перевантаження, перегріву або навіть виходу з ладу електроприводу.

Першочергова мета такого розрахунку полягає в тому, щоб забезпечити достатній крутний момент на робочому органі для подолання опору подрібнення. Обраний двигун має не лише запускати систему, а й стабільно підтримувати роботу у номінальному режимі, враховуючи інерцію обертових частин і можливі пікові навантаження. При цьому важливо не лише покрити потреби механічної частини, але й забезпечити енергоефективність у процесі роботи.

Крім того, розрахунок дозволяє оптимально підібрати апаратуру керування та захисту: автоматичні вимикачі, контактори, теплові реле. У разі недостатнього розрахунку або перевищення потужності можуть виникнути проблеми з запуском приводу, зниженням ресурсу трансмісійних елементів, або ж із системами автоматичного керування.

Таким чином, правильне визначення потужності електродвигуна не лише забезпечує відповідність технічним умовам експлуатації, але й дозволяє гарантувати довговічну, безпечну й економічну роботу пристрою.

3.1.1 Вихідна потужність на ведучому валу складає $P_B=2,5$ кВт, а число обертів ведучого вала рівна $n_B= 3000$ хв⁻¹.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						42
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3.1.1.1 Визначення розрахункової потужності електродвигуна здійснюється за наступною формулою:

$$P_p = \frac{P_e}{\eta}, \quad (3.1)$$

де η – коефіцієнт корисної дії,

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2^2, \quad (3.2)$$

де η_1 – коефіцієнт корисної дії клинопасової передачі, $\eta_1 = 0,96$ [26];

η_2 – коефіцієнт корисної дії підшипників кочення, $\eta_2 = 0,99$ [26].

Підставивши значення було отримано:

$$\eta = 0,96 \cdot 0,99^2 = 0,94,$$

$$P_p = \frac{2,75}{0,94} = 2,92 \text{ кВт.}$$

Для приводу пристрою для подрібнення матеріалів приймається електродвигун типу 4AM90L2 відповідно до технічних умов ТУ 16-52685-86. Даний електродвигун належить до серії асинхронних трифазних двигунів з короткозамкненим ротором, що характеризуються компактністю, високою надійністю, стабільністю роботи та зручністю у монтажі й експлуатації. Потужність двигуна становить 3,0 кВт, що забезпечує необхідний енергетичний резерв для подолання втрат у трансмісії та для забезпечення стабільного крутного моменту під навантаженням.

Електродвигун 4AM90L2 має стандартну частоту обертання 3000 об/хв, що відповідає розрахунковим параметрам ведучого вала подрібнювача. Крім того, він характеризується низьким рівнем шуму, ефективним повітряним охолодженням і тривалим ресурсом роботи. Завдяки компактним габаритам, двигун зручно

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		43

інтегрується в загальну конструкцію пристрою, що було передбачено при проектуванні компоновки. Таким чином, обраний двигун повністю відповідає вимогам технологічного процесу подрібнення та забезпечує надійну роботу пристрою в умовах побутового або напівпромислового застосування.

Ковзання дорівнює $S=6$.

Тоді:

$$n_{\text{об}} = n \left(1 - \frac{S}{100} \right), \quad (3.3)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$n_{\text{об}} = 3000 \left(1 - \frac{6}{100} \right) = 2820 \text{ хв}^{-1}.$$

Обраний електродвигун забезпечує необхідний запас потужності для стабільної роботи пристрою, зокрема для подолання опору, що виникає внаслідок сил тертя під час процесу подрібнення. Під час подрібнення матеріалу між подрібнюючими елементами або ріжучими елементами утворюються значні зусилля взаємодії, які супроводжуються механічними втратами. Наявність сил тертя в підшипниках, у вузлах приводу та в зоні контакту подрібнювальних елементів вимагає, щоб електропривод мав відповідну потужність для забезпечення безперервного руху та збереження технологічних параметрів процесу. Тому двигун, який було обрано, здатний ефективно компенсувати всі втрати енергії на тертя і забезпечити стабільну роботу подрібнювача при різних режимах навантаження.

3.1.2 Розрахунок швидкості обертання ротору млина

Колова швидкість обертання диска повинна бути достатньою для того, щоб забезпечити руйнування матеріалу в момент його контакту з робочим органом під дією удару. Цей процес має забезпечувати подрібнення шляхом миттєвої

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		44

передачі імпульсу від рухомого елемента до частинки матеріалу, що дробиться. Мінімально необхідна швидкість обертання диска, при якій забезпечується ефективне руйнування частинок, визначається на основі закону збереження кількості руху, враховуючи масу ударного елемента, його швидкість і механічні властивості матеріалу, що підлягає подрібненню. Згідно з методикою, наведеною в [26], ця швидкість V_{\min} визначається з умови, за якої енергія удару перевищує межу міцності частинки на руйнування, що є критичним параметром для розрахунку кінематики ротора подрібнювача. Відповідно:

$$m(V_1 - V_2) = Pt, \quad (3.4)$$

де m – вага роздробленої частинки, кг;

P – середня миттєва сила опору руйнування частинки, Н;

V_1 – швидкість частинки до удару, м/с;

V_2 – швидкість частинки після удару, м/с;

t – тривалість удару, с.

3.1.3 Якщо прийняти, що $V_2=0$, то отримаємо:

$$m \cdot V_{\min} = Pt, \quad (3.5)$$

Тоді:

$$V_{\min} = \left(\frac{Pt}{m} \right).$$

Для розрахунку було прийнято середню вагу однієї частинки матеріалу $m=4,35 \cdot 10^{-8}$ кг, тривалість удару $t=10^{-5}$ с та силу руйнування твердої частки $P=120$ Н. Тоді для подрібнення матеріалу мінімальна швидкість буде рівною:

$$V_{\min} = \frac{Pt}{m} = \frac{120 \cdot 10^{-5}}{4,35 \cdot 10^{-8}} = 27,586 \text{ м/с}$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						45
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3.2 Розрахунок клинопасової передачі обладнання для подрібнення

3.2.1 Крутний момент на валу електричного двигуна визначається із наступного виразу:

$$M'_{кр} = 9550 \frac{P}{n}, \quad (3.6)$$

Тоді:

$$M'_{кр} = 9550 \frac{2.2}{3000} = 7 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Крутний момент, що передається одним кінцем валу електричного двигуна знаходиться наступним чином:

$$M_{кр} = \frac{M'_{кр}}{2} \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.7)$$

$$M_{кр} = \frac{7}{2} 3,5 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

При даному моменті по [26] було прийнято переріз пасу «О» з наступними розмірами (рис.3.2): $v_p=8,5$ мм; $h=6$ мм; $v_o=10$ мм; $y_o=2,1$ мм; $\phi_o=40^\circ$. Площа поперечного перерізу склала $F_1=0,81$ см².

3.2.2 Діаметр шківів електричного двигуна у відповідності з рекомендаціями прийнято, виходячи із технічної літератури [26]. Розрахунковий діаметр склав $d_{p_{\min}}=63$ мм. Але так як у випадку, що розглядається немає жорстких меж до га-

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		46

баритів передачі, то для підвищення довговічності пасу було прийнято d_{p1} наступний за мінімальним [26], тобто $d_{p1}=71$ мм.

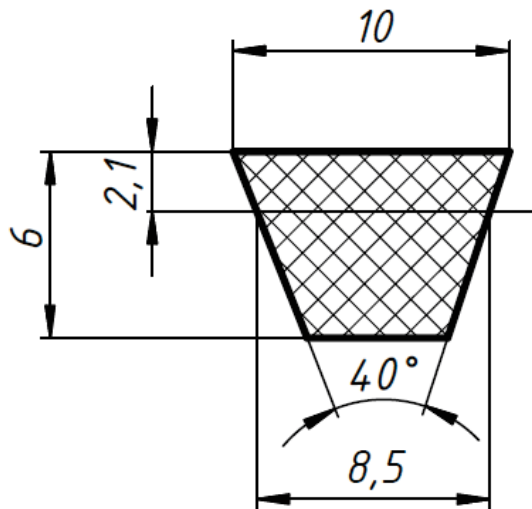


Рисунок 3.2 - Поперечний переріз

3.2.3 Діаметр шківів обладнання знаходиться за формулою:

$$d_{p2} = d_{p1} \cdot u(1 - \Sigma), \quad (3.8)$$

де u – передаточне число (в даному випадку $u=1$);

$\Sigma= 0,02$ [26].

Підставивши значення було отримано:

$$d_{p2} = 71 \cdot 1(1 - 0,02) = 69,9 \text{ мм.}$$

Використавши технічну літературу було вибрано стандартний діаметр $d_{p1}=71$ мм [26].

3.2.4 Фактичне передаточне число знаходиться за наступною формулою:

$$u_p = \frac{d_{p2}}{d_{p1}(1 - \Sigma)}. \quad (3.9)$$

										Лист
										47
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата						

Підставивши значення було отримано:

$$u_p = \frac{71}{71(1-0.02)} = 0,98.$$

3.2.5 Швидкість пасу визначається із виразу:

$$V = \frac{\pi \cdot dp_1 \cdot n_1}{60 \cdot 1000}, \quad (3.10)$$

Підставивши значення було отримано:

$$V = \frac{3.14 \cdot 71 \cdot 3000}{60 \cdot 1000} = 11,1 \text{ м/с.}$$

3.2.6 Частота обертання ведучого валу знаходиться із формули:

$$n_2 = \frac{dp_1 \cdot n(1-\Sigma)}{dp_2}, \quad (3.11)$$

Підставивши значення було отримано:

$$n_2 = \frac{71 \cdot 3000(1-0.02)}{71} = 2940 \text{ хв}^{-1}.$$

3.2.7 Міжосьова відстань визначається згідно рекомендацій [26]:

$$a = 1.5 \cdot dp_2, \quad (3.12)$$

Підставивши значення у формулу (3.12) було отримано:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		48

$$a = 1,5 \cdot 71 = 106,5 \text{ мм.}$$

Розрахункова міжосьова відстань не підходить, тому що прийнято конструктивно $a=500\text{мм}$.

3.2.8 Розрахункова довжина пасу визначається із наступної формули:

$$L = 2a + \frac{\pi}{2}(dp_1 + dp_2) + \frac{(dp_2 - dp_1)^2}{4a}; \quad (3.13)$$

Підставивши значення в формулу (3.13) було знайдено:

$$L = 2 \cdot 500 + \frac{3,14}{2}(71 + 71) + \frac{(71 - 71)^2}{4 \cdot 500} = 1223 \text{ мм.}$$

Використавши технічну літературу [26] стандартна довжина пасу склала $L=1250 \text{ мм}$.

Використовуючи отримане значення стандартної довжини пасу L було уточнено дійсну відстань:

$$a = \frac{2L - \pi(dp_1 + dp_2) + \sqrt{[2L - \pi(dp_1 + dp_2)]^2 - 8(dp_2 - dp_1)^2}}{8}; \quad (3.14)$$

Підставивши значення величин було отримано:

$$a = \frac{2 \cdot 1250 - 3,14(71 + 71) + \sqrt{[2 \cdot 1250 - 3,14(71 + 71)]^2 - 8(71 - 71)^2}}{8} = 498 \text{ мм.}$$

Використовуючи літературу [26] вихідна довжина пасу рівняється $L_0=1320 \text{ мм}$.

Тоді відносна довжина складає:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						49
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$L/L_0=1250/1320=0,95.$$

З технічного джерела [26] коефіцієнт довжини склав $C_L=1$.

Потужність N_0 , що передається клинопасом при $I=1$, $\alpha_1=180^\circ$ (кут обхвату), довжини L_0 і однозмінній спокійній роботі, при $d_{p1}=71\text{мм}$ і $V=11,1\text{ м/с}$ [26] $N_0=0,95\text{ кВт}$.

3.2.9 Коефіцієнт кута охоплення [26] $C_\alpha=1$.

Коефіцієнт режиму роботи при вказаному напруженні [12] складає $C_p=0,84$.

3.2.10 Допустима напруженість на один пас рівняється:

$$[N] = N_0 \cdot C_\alpha C_L \cdot C_p, \quad (3.15)$$

Підставивши значення було отримано:

$$[N] = 0,95 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 = 0,8\text{ кВт}.$$

3.2.11 Розрахункове число пасів визначається за формулою:

$$Z = \frac{N}{[N]}, \quad (3.16)$$

де N – потужність, що передається одним пасом.

Відповідно:

$$N=3000/2= 1500\text{ Вт},$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		50

$$Z = \frac{1,5}{0,8} = 1,9.$$

Було прийнято $Z=2$.

3.2.12 Сила початкового натягу пасу знаходиться із виразу:

$$S_{01} = \frac{780N}{V \cdot C_{\alpha} \cdot C_P} \pm q \cdot V^2, \quad (3.17)$$

де q – погонна маса пасу, $q=0,07$ кг/м [26].

Тоді:

$$S_{01} = \frac{780 \cdot 1.5}{11.1 \cdot 1 \cdot 0.8} + 0.07 \cdot 11.1^2 = 140 \text{ Н.}$$

3.2.13 Зусилля, які діють на вали визначаються з виразу:

$$F = 2 \cdot S_{01} \cdot z \cdot \sin \alpha / 2, \quad (3.18)$$

Підставивши значення було отримано:

$$F = 2 \cdot 140 \cdot 2 \cdot 1 = 560 \text{ Н.}$$

Розміри обода шківа, виходячи з літератури [26] склали: $l_p=8,5$ мм; $h=7$ мм; $l=2,5$ мм; $f=8 \pm 1$ мм; $\alpha_1=\alpha_2=34^0$.

3.2.14 Зовнішній діаметр шківів знаходиться із виразу:

$$d_{e1} = d_{e2} = dp_1 + z \cdot l; \quad (3.20)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		51

$$d_{e1} = 71 + 2 \cdot 2.5 = 76 \text{ мм.}$$

3.2.15 Ширина ободів шківів знаходиться із формули:

$$l_u = 2 \cdot f + e; \quad (3.21)$$

Тоді:

$$l_u = 2 \cdot 8 + 14 = 30 \text{ мм.}$$

3.3 Розрахунок валу

3.3.1 Знаходження сила, яка діє на вал

Для проектного розрахунку було прийнято осьове зусилля при подрібненні матеріалу $F_a = 485 \text{ Н}$.

3.3.2 Колова сила знаходиться за формулою:

$$F_\tau = \frac{F_a}{0,5}, \text{ Н,} \quad (3.22)$$

Відповідно:

$$F_\tau = \frac{458}{0,5} = 916 \text{ Н.}$$

3.3 Розрахунок валу

3.3.3 Відцентрова сила знаходиться за формулою:

$$F_R = F_\tau \cdot 0,4, \quad (3.23)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		52

$$F_R = 916 \cdot 0,4 = 366 \text{ Н.}$$

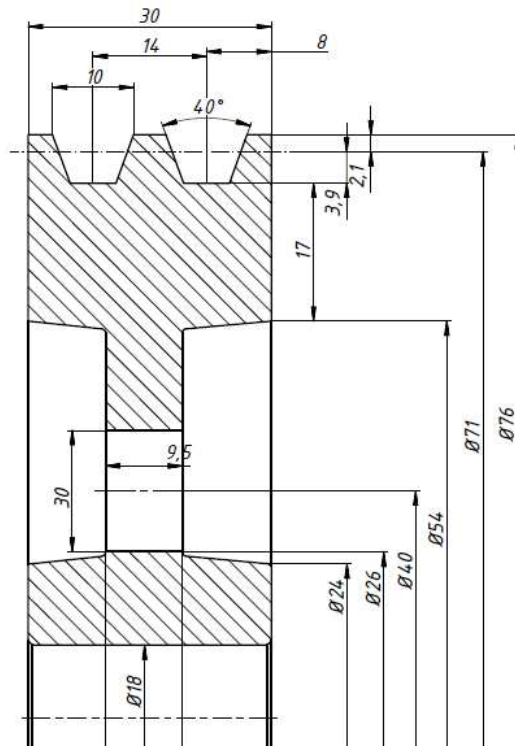


Рисунок 3.3 – Шків, що розміщується на валу робочого циліндра

3.3.4 Визначення реакції опор у верхній площині:

$$\sum M_{\text{вв}} = -F_r \cdot AB - F_p(BC + CD) + Fa \frac{d_{\text{ж}}}{2} + R_{cy} \cdot BC = 0, \quad (3.24)$$

Виходячи з виразу (3.24) отримаємо:

$$R_{cy} = \frac{F_r \cdot AB + F_p(BC + CD) - Fa \frac{d_{\text{ж}}}{2}}{BC},$$

де $d_{\text{ж}}$ – діаметр, $d_{\text{ж}}=130$ мм.

Відповідно:

									Лист
									53
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	БРМА25.00.00.000 ПЗ				

$$R_{cy} = \frac{366 \cdot 0,04 + 515(0,05 + 0,065) - 468 \cdot 0,065}{0,05} = 881,9 \text{ Н.}$$

Тоді:

$$\sum M_{cy} = -Fr(AB + BC) - Fp \cdot CD + Fa \frac{d_{жс}}{2} + R_{by} \cdot BC = 0, \quad (3.25)$$

Звідси випливає:

$$R_{by} = \frac{Fr(AB + BC) + Fp \cdot CD - Fa \frac{d_{жс}}{2}}{BC},$$

Підставивши значення отримаємо:

$$R_{by} = \frac{366(0,04 + 0,05) + 5,15 \cdot 0,065 - 458 \cdot 0,065}{0,05} = 732,9 \text{ Н.}$$

Здійснюємо перевірку:

$$F_r - R_{by} + R_{cy} - F_p = 0,$$

Відповідно:

$$366 - 732,9 + 881,9 - 515 = 0.$$

Перевірка вірна.

Знаходження моменту у вертикальній площині здійснюється за формулою:

$$M_{AY} = -Fa \frac{d_{жс}}{2}, \quad (3.26)$$

Підставивши значення було отримано:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		54

$$M_{AY} = -485 \cdot 0,065 = -29,77 \text{ Н}\cdot\text{м}; M_{DY}=0,$$

Відповідно:

$$M_{CY} = -Fp \cdot 0,065, \quad (3.27)$$

$$M_{CY} = -515 \cdot 0,065 = 33,5 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{BY} = -Fp \cdot 0,115 + R_{CY} \cdot 0,05, \quad (3.28)$$

$$M_{BY} = -515 \cdot 0,115 + 881,9 \cdot 0,05 = -15,2 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Розглянемо горизонтальну площину:

$$\sum M_{BX} = 0; -Ft \cdot AB + R_{CX} \cdot BC = 0, \quad (3.29)$$

$$R_{CX} = \frac{Ft \cdot AB}{BC},$$

$$R_{CX} = \frac{916 \cdot 0,04}{0,05} = 732,8 \text{ Н},$$

$$\sum M_{CX} = 0; -Ft(AB + BC) + R_{BX} \cdot BC = 0, \quad (3.30)$$

$$R_{BX} = \frac{Ft(AB + BC)}{BC},$$

$$R_{BX} = \frac{916 \cdot 0,09}{0,05} = 1648,8 \text{ Н},$$

$$Ft - R_{BX} + R_{CX} = 0, \quad (3.31)$$

$$916 - 1648.8 + 732.8 = 0.$$

Знаходження моменту у горизонтальній площині:

$$M_{ax} = 0; \quad M_{bx} = Ft \cdot 0,04 = 9,16 \cdot 0,04 = 3,64 \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.32)$$

$$M_{cx} = 0; \quad M_{dx} = 0.$$

3.3.5 Визначення сумарних згинаючих моментів:

$$M_{\Sigma A} = \sqrt{M_{ay}^2 + M_{ax}^2}; \quad (3.33)$$

$$M_{\Sigma A} = \sqrt{M_{ay}^2 + M_{ax}^2} = \sqrt{(-29,77)^2 + 0} = 29,77 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\Sigma B} = \sqrt{M_{by}^2 + M_{bx}^2} = \sqrt{15,2^2 + 36,6^2} = 39,7 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\Sigma c} = \sqrt{M_{cy}^2 + M_{cx}^2} = \sqrt{(-29,2)^2 + 0} = 29,2 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{\Sigma d} = 0.$$

3.3.6 Знаходження обертового моменту на валу:

$$T = 14,93 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3.3.7 Знаходження еквівалентних моментів:

$$M_e = \sqrt{M_{\Sigma}^2 + T^2}, \quad (3.34)$$

$$M_{ea} = \sqrt{M_{\Sigma A}^2 + T^2} = \sqrt{29,77^2 + 14,93^2} = 33,3 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		56

$$M_{ев} = \sqrt{M_{\Sigma B}^2 + T^2} = \sqrt{39,7^2 + 14,93^2} = 42,6 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{ес} = \sqrt{M_{\Sigma C}^2 + T^2} = \sqrt{33,5^2 + 14,93^2} = 36,7 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{ед} = \sqrt{M_{\Sigma D}^2 + T^2} = \sqrt{0 + 14,93^2} = 14,93 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3.3.8 Знаходження діаметра вала в характерних точках

Діаметр вала у місці посадки подрібнюючого елемента знаходиться за формулою:

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{M_{ел}}{0,1 \cdot [\sigma_1]}}, \quad (3.35)$$

$$d_A = \sqrt[3]{\frac{33,3 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 50}} = 22,4 \text{ мм}.$$

Враховувавши послаблення валу шпоночним пазом і можливістю подрібнення крупніших розмірів, було прийнято діаметр валу під подрібнюючий елемент:

3.3.9 Діаметр валу під підшипниками є рівним:

$$d_B = d_K = 35 \text{ мм}.$$

Діаметр перехідної ділянки було прийнято рівним 30 мм.

3.3.10 Діаметр валу в місці посадки шківів знаходиться із виразу:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		57

$$d_d = \frac{d_A}{1,2} \text{ мм}, \quad (3.36)$$

$$d_d = \frac{30}{1,2} = 25 \text{ мм.}$$

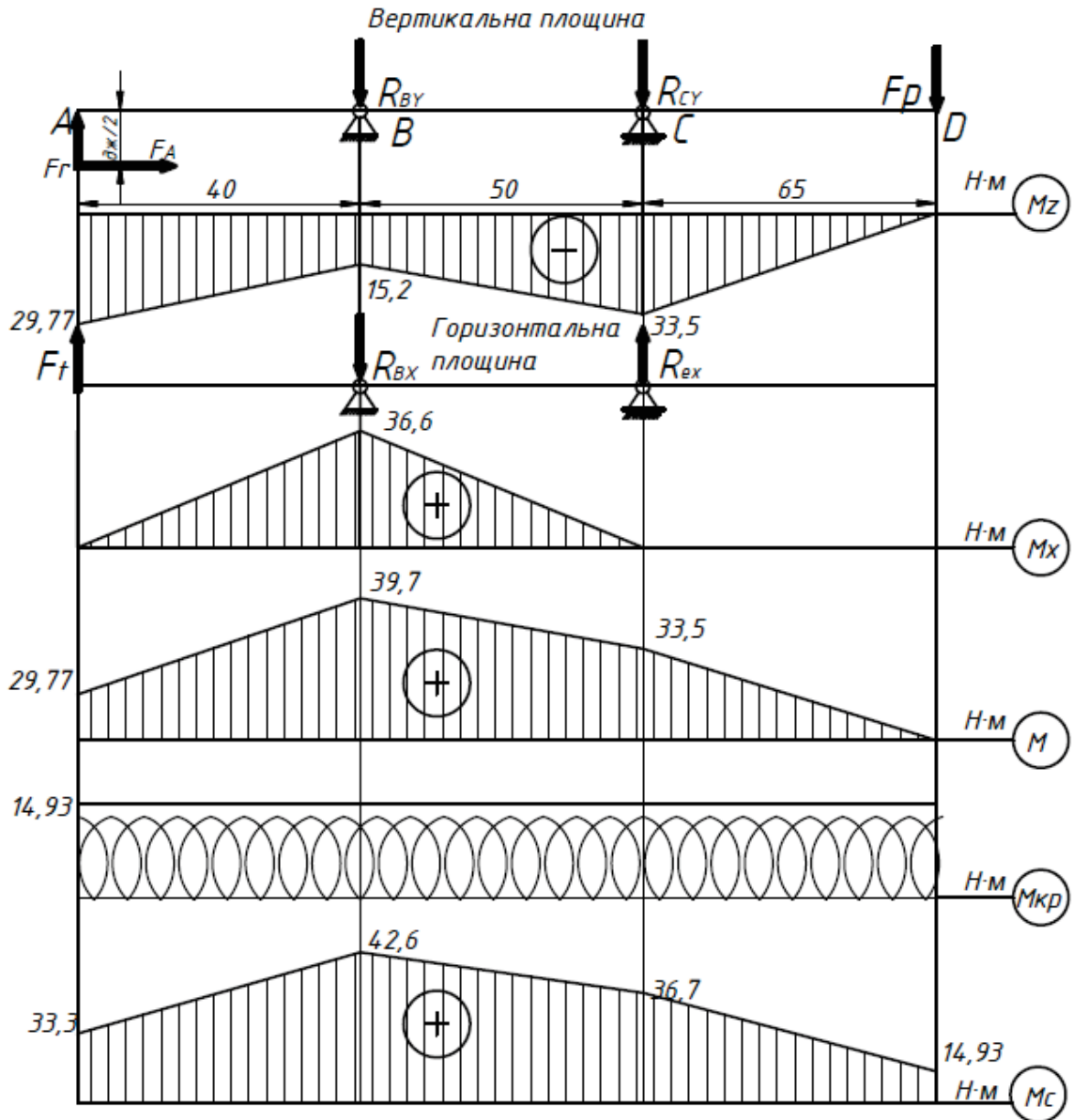


Рисунок 3.4 - Розрахункова схема та епюри моментів валу

3.3.11 Проведення перевірки розрахунку валу

3.3.11.1 Загальний коефіцієнт запасу міцності визначається із виразу:

$$S = \frac{S\sigma \cdot S\tau}{\sqrt{S\sigma^2 + S\tau^2}}, \quad (3.37)$$

де $S\sigma$ і $S\tau$ – коефіцієнти запасу по нормальним і дотичним напруженням.

Вони знаходяться із наступних формул:

$$S\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K\sigma}{\Sigma\sigma} \cdot \sigma_a + \psi\sigma \cdot \sigma_m}, \quad (3.38)$$

$$S\tau = \frac{2 \cdot \tau_{-1}}{\frac{K\tau}{\Sigma\tau} \cdot \tau_a + \psi \cdot \tau_m}, \quad (3.39)$$

де σ_{-1} і τ_{-1} – межі витривалості матеріалу для сталі 45.

Тоді:

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot \sigma_s \text{ МПа};$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \cdot 610 = 262 \text{ МПа};$$

$$\tau_{-1} = 0,58 \cdot \sigma_{-1};$$

$$\tau_{-1} = 0,58 \cdot 262 = 152 \text{ МПа}.$$

3.3.11.2 Напруження у перерізі визначаються із залежності:

$$\sigma = \frac{M}{W}; \quad (3.40)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						59
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

$$\tau = \frac{T}{W_p}, \quad (3.41)$$

де $M_{\Sigma B}$ – момент у даному перерізі, $M_{\Sigma B} = 39,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

T – обертовий момент на ведучому валу $T = 14,93 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

W_p і W – момент опору.

3.3.11.3 Знаходження поправочних коефіцієнтів:

$$\frac{K\sigma}{\Sigma\sigma} = 3,41;$$

$$\frac{K\tau}{\Sigma\tau} = 2,46,$$

де $\Sigma\sigma = \Sigma\tau = 1$ – при шліфуванні.

$\Psi = 0,1$.

3.3.11.4 Здійснення перевірки перерізу В

Момент опору визначається із виразу:

$$W = \frac{\pi d^3}{32} \text{ мм}^3, \quad (3.42)$$

Підставивши значення було отримано:

$$W = \frac{3,14 \cdot 35^3}{32} = 4207 \text{ мм}^3,$$

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \text{ мм}^3, \quad (3.43)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		60

$$W_p = \frac{3,14 \cdot 35^3}{16} = 8414 \text{ мм}^3.$$

3.3.11.5 Визначення нормальних і дотичних напружень:

$$\sigma_a = \frac{M_{\Sigma B}}{W} = \frac{39,7 \cdot 10^3}{4207} = 9,43 \text{ МПа}; \quad (3.44)$$

$$\tau_m = \tau_a = \frac{T}{W_p} = \frac{14,93 \cdot 10^3}{8414} = 1,77 \text{ МПа}, \quad (3.45)$$

$$\sigma_m = 0,$$

$$S\sigma = \frac{262}{3,14 \cdot 9,43} = 8,1,$$

$$S\tau = \frac{2 \cdot 152}{2,46 \cdot 1,77 + 0,1 \cdot 1,77} = 67,1,$$

$$S = \frac{8,1 \cdot 67,1}{\sqrt{8,1^2 + 67,1^2}} = 8,04 \geq 2,5 \dots 4.$$

Умови жорсткості і міцності виконуються.

3.4 Розрахунок підшипників кочення

Зі сторони елемента, що подрібнює на валу діє осьове навантаження на опори з врахуванням діаметру вала в місці посадки підшипника $d_n=35$ мм було вибрано радіально-упорний кульковий підшипник №36307, у якого внутрішній діаметр рівняється $d_n=35$ мм, зовнішній є рівним $D_n=80$ мм, ширина підшипника складає $B=21$ мм, кут контакту є рівним $\alpha=12^0$, динамічне навантаження складає $C=35000$ Н, статичне навантаження - $C_0=27400$ Н.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						61
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

3.4.1 Визначення радіального навантаження під підшипник:

$$F_{rB} = \sqrt{R_{BX}^2 + R_{BY}^2}, \quad (3.46)$$

Відповідно:

$$F_{rC} = \sqrt{R_{CX}^2 + R_{CY}^2}, \quad (3.47)$$

де R_{BX} , R_{CX} , R_{BY} , R_{CY} – попередньо визначені реакції опор у горизонтальній і вертикальній площинах у визначених перерізах.

Підставивши значення було отримано:

$$F_{rB} = \sqrt{1648,8^2 + 732,9^2} = 1804 \text{ Н},$$

$$F_{rC} = \sqrt{732,8^2 + 881,9^2} = 1446,62 \text{ Н}.$$

Вибираємо параметри осьових зусиль і визначено за відношенням:

$$\frac{F_0 \cdot i}{C_0}, \quad (3.4)$$

де i – число рядів підшипника, $i=1$;

C_0 – статичне навантаження, $C_0=27400$ Н;

F_a – осьове зусилля, $F_a=485$ Н.

Підставивши значення було отримано:

$$\frac{485 \cdot 1}{27400} = 0,017;$$

Тоді коефіцієнт осьового навантаження l складе:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		62

$$l=0,3.$$

3.4.2 Визначаємо осьові складові від дії радіальних зусиль:

$$S = l \cdot Fr, \quad (3.49)$$

Відповідно:

$$S_b = 0,3 \cdot 1804 = 541,2 \text{ Н},$$

$$S_c = 0,3 \cdot 1446,62 = 343,9 \text{ Н}.$$

3.4.3 Визначення осьових зусиль, що навантажують підшипник:

Виходячи з умови, що $S_c < S_b$, $F > 0$, отримаємо:

$$F_{ab} = S_b = 541,2 \text{ Н},$$

$$F_{ac} = S_b + S_c = 541,2 + 343,9 = 885,1 \text{ Н} \quad (3.50)$$

3.4.4 Визначаємо коефіцієнт радіального та осьового навантаження

Коефіцієнти знаходяться по відношенню:

$$\frac{F_{ai}}{V \cdot F_{ri}}, \quad (3.51)$$

де V – коефіцієнт обертання для внутрішнього кільця підшипника, $V=1$.

Відповідно:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		63

$$\frac{Fab}{V \cdot Frb} = \frac{541,2}{1 \cdot 1804} = 0,3 = C = 0,3,$$

$$x=1; y=0,$$

$$\frac{Fac}{V \cdot Frc} = \frac{885,1}{1 \cdot 1446,62} = 0,61 \geq C = 0,3,$$

$$x=0,45; y=1,81.$$

Здійснюємо розрахунок еквівалентних навантажень:

$$P_E = (V \cdot X \cdot Fr + y \cdot Fa) \cdot K_\sigma \cdot K_T, \quad (3.52)$$

де K_σ – коефіцієнт безпеки, $K_\sigma=1,3$;

K_T – температурний коефіцієнт, при робочій температурі $t^0 < 100^0$ С, $K_T=1$.

Підставивши значення отримаємо:

$$P_{EB} = (1 \cdot 1 \cdot 1804 + 0 \cdot 541,2) \cdot 1 \cdot 1,3 = 2345,2 \text{ Н},$$

$$P_{EC} = (1 \cdot 0,45 \cdot 1446,62 + 1,81 \cdot 885,1) \cdot 1 \cdot 1,3 = 2253,01 \text{ Н}.$$

Від кінця валу більше навантаженою є опора В.

3.4.5 Знаходимо динамічну вантажопідйомну силу з формули:

$$C_n = P_{EB} \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n_1 \cdot L_n}{10^6}}, \quad (3.53)$$

Відповідно:

$$L_n = L \cdot 365 \cdot K_{рiч} \cdot 24 \cdot K_{дод}, \quad (3.54)$$

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						64
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

де L – термін служби, $L=10$ років;

$K_{річ}$ – коефіцієнт завантаження на добу, $K_{річ}=0,75$;

$K_{доб}$ – коефіцієнт завантаження на добу по годинах, $K_{доб}=0,5$.

Тоді:

$$L_n = 10 \cdot 365 \cdot 0,75 \cdot 24 \cdot 0,5 = 29565 \text{ год.}$$

Відповідно:

$$C_n = 2346,23 \sqrt[3]{\frac{60 \cdot 1760 \cdot 29565}{10^6}} = 34276,2 \text{ Н.}$$

Тоді:

$$C_n = 34276,2 \text{ Н} < C_{таб} = 35000 \text{ Н.}$$

Вибраний підшипник є працездатним при заданих умовах.

3.5 Розрахунок шпонкових з'єднань

3.5.1 Розрахунок умови міцності на зминання робочої довжини шпонки

Для діаметру валу $d=25$ мм було прийнято шпонку в х $h=8 \times 7$.

Відповідно:

$$L_p \geq \frac{4 \cdot T}{d \cdot h \cdot [\sigma_{зм}]}, \quad (3.54)$$

де d – діаметр валу; $d=25$ мм;

$[\sigma_{зм}] = 100$ МПа для сталі 45;

$h=7$ мм – ширина шпонки;

T – обертовий момент на валу, $T=14,93$ Н·м.

Підставивши значення було отримано:

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		65

$$L_p = \frac{4 \cdot 14,93}{25 \cdot 7 \cdot 100} = 3,41 \text{ мм.}$$

3.5.2 Визначаємо довжину шпонки:

$$L = L_p + b = 3,41 + 8 = 11,4 \text{ мм.}$$

Було прийнято стандартну довжину шпонки $L=16$ мм.

3.5.3 Визначаємо робочу довжину шпонки:

$$L_p = L - b = 16 - 8 = 8 \text{ мм.}$$

Було прийнято стандартну довжину шпонки 8 x 7 x 16 за ГОСТ 23360-78.

3.5.4 Перевіряємо умову міцності на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{2T}{b \cdot L_p \cdot d} \leq [\tau_{зр}], \quad (3.55)$$

де $[\tau_{зр}]$ – допустиме напруження на зріз для сталі 45, $[\tau_{зр}] = 80$ МПа.

Відповідно:

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 14,93 \cdot 10^3}{8 \cdot 8 \cdot 25} = 18,7 \text{ МПа} < [\tau_{зр}] = 80 \text{ МПа.}$$

Було прийнято шпонку 8 x 7 x 16 (ГОСТ 23360-78). На місце посадки на вал веденого шківa пасової передачі прийнято таку саму шпонку.

3.6 Висновки до третього розділу

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		66

У третьому розділі було виконано комплекс розрахунків, які підтверджують працездатність конструкції пристрою для подрібнення твердих матеріалів у легкій промисловості. Насамперед було визначено розрахункову потужність електродвигуна, яка необхідна для забезпечення стабільної роботи обладнання. Було обґрунтовано вибір асинхронного електродвигуна типу 4АМ90L2 потужністю 3,0 кВт, який має достатній запас по потужності для компенсації втрат, викликаних силами тертя у трансмісії, вузлах приводу та під час подрібнення матеріалу.

Здійснено детальний розрахунок клинопасової передачі, що забезпечує ефективну передачу обертового моменту з урахуванням рекомендованих діаметрів шківів, довжини паса, міжосьової відстані та необхідної кількості пасів. Також було перевірено натяг і зусилля, що діють на вали, визначено геометричні параметри шківів, що дозволяє гарантувати надійність та довговічність роботи трансмісійної частини пристрою.

У процесі розрахунку валу було враховано всі діючі навантаження, визначено сумарні згинаючі та обертові моменти, розраховано еквівалентні напруження в характерних перерізах. Проведено перевірку міцності вала, яка підтвердила відповідність діаметрів вимогам до жорсткості та міцності, а також наявність допустимих запасів міцності за нормальними і дотичними напруженнями.

Було виконано перевірку працездатності підшипників кочення. Для зони з максимальним навантаженням було обрано радіально-упорний підшипник 36307. Розрахунки навантажень та ресурсу експлуатації підтвердили, що обраний підшипник забезпечує тривалу і стабільну роботу в умовах заданих осьових і радіальних зусиль.

Окрему увагу приділено міцності шпонкових з'єднань. Здійснено перевірку на зминання і зріз, обрана шпонка 8×7×16 мм відповідає вимогам стандарту ГОСТ 23360-78 і гарантує надійність з'єднання в зоні передачі моменту від шківа до валу.

У результаті розрахунків підтверджено, що всі елементи конструкції - від електроприводу до вузлів трансмісії і подрібнюючих механізмів - мають достатній запас міцності, відповідають вимогам надійності та забезпечують ефективне

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						67
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

функціонування обладнання при експлуатації в побутових і напівпромислових умовах. Розрахункова частина підтверджує доцільність прийнятих технічних рішень і відповідність конструкції заданим умовам експлуатації.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		68

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було проведено всебічне дослідження теоретичних засад, практичних рішень та інженерної реалізації обладнання для подрібнення твердих матеріалів, зокрема відходів легкої промисловості.

У першому розділі здійснено детальний огляд механічних процесів подрібнення, проаналізовано фізичні принципи руйнування матеріалів, методи і типи подрібнювального обладнання. Надано класифікацію подрібнювачів за способом дії та ступенем диспергування. Особливу увагу приділено специфіці обробки відходів взуттєвого і шкіряного виробництва, які можуть бути ефективно перероблені механічними методами з метою зменшення екологічного навантаження та повторного використання як вторинної сировини.

У другому розділі проведено інженерну розробку подрібнювального пристрою, адаптованого для роботи з широким спектром відходів легкої промисловості. Створено технічно обґрунтовану компоновку з урахуванням розташування робочих вузлів, засобів керування та змінних гарнітур. Конструкція забезпечує можливість регулювання ступеня подрібнення, швидку заміну ножів, технологічну гнучкість та ремонтпридатність. Запропонований пристрій дозволяє подрібнювати полімери, барвники та солі з метою їх подальшого використання.

У третьому розділі виконано розрахунки на міцність і працездатність основних механічних елементів обладнання. Визначено оптимальну потужність електродвигуна, обґрунтовано вибір передачі та її параметрів, проведено розрахунок валу на згин і кручення, перевірку підшипників і шпонкових з'єднань. Результати показали, що всі компоненти конструкції мають необхідний запас міцності та здатні забезпечити надійну роботу в умовах експлуатації.

Узагальнюючи, у процесі виконання роботи створено універсальне обладнання для подрібнення матеріалів легкої промисловості, яке поєднує конструктивно простоту, адаптивність до різних типів матеріалів і достатній рівень технічної надійності. Це підтверджує доцільність його впровадження як у невеликих виробництвах, так і в навчально-лабораторних умовах.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
						69
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Луцяк В.В., Пронько Л.М., Колесник Т.В. Маркетинговий менеджмент: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2019. - 231 с.
2. Сухенко Ю.Г., Литвиненко О.А., Сухенко В.Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв. – К.: НУХТ, 2010. – 547с.
3. Тертишний О.О., Опарін С.О., Рябік П.В. Механічні процеси в хімічній технології. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2015. – 215 с.
4. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс]: навч. посіб. для підготовки студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Ю. Щербина, В. І. Сівецький, О.В. Гондляр; – Електронні текстові дані (1 файл: 18,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 131 с.
5. Конспект лекцій до розділу «Механічні процеси» з курсу —Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III-IV курсів механічних спеціальностей / Укл. С.О. Опарін. – Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2012. – 112 с.
6. Сердюк А. М. Розробка електротехнічного комплексу для приготування рідких кормів на базі роторно-пульсаційних технологій. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (14 «Електрична інженерія»). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023.
7. Обладнання для грубого і тонкого подрібнення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://surl.li/vcdoga>.
8. Основні способи подрібнення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9469361/page:4/>.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		70

9. Машина для подрібнення сировини і перемішування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/lekcija-5.pdf>.

10. Паламарчук І.П., Янович В.П. Процеси та обладнання для подрібнення у переробних і харчових виробництвах. Методичні вказівки для виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Процеси та апарати переробних і харчових виробництв». – Вінниця, ВЦ ВНАУ, 2014, – 68 с.

11. Технологічне обладнання для подрібнення сировини і матеріалів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukragroserv.com.ua/catalog/tehnologichne-obladnannya-dlya-podribnennya-syrovyny/>

12. Класифікація дробарок: види та їх характеристики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://analitic.ub.ua/28830-klasifikaciya-drobarok-vidi-ta-yih-harakteristiki.html>.

13. Подрібнення пластику [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ecopolymer.com.ua/plastic/>

14. Види дробарок, їх пристрій і застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://yak.koshachek.com/articles/vidi-drobarok-ih-pristrij-i-zastosuvannja-mobilna.html#google_vignette.

15. Види та класифікація дробарок для дерева [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://techtronic.com.ua/vidi-ta-klasifikaciya-drobarok-dlya-dereva/#google_vignette.

16. Обладнання хімічних виробництв : конспект лекцій / укладач М.П. Юхименко. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 119 с.

17. Теорія різання та інструмент: Навчальний посібник/ Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Ковальова І.М. – Вінниця: 2018. – 297 с.

18. Патенти на винаходи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://library.khmnu.edu.ua/?page_id=4559.

19. Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі : методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О. С. Поліщук,

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		71

М. Є. Скиба, С. П. Лісевич, О. О. Коротич, В. О. Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.

20. Загальна компоновка машини (апарата) і складальних одиниць [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%20%D0%B3%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9/page26.html.

21. Розробка технічних засобів проектування технологічного і верстатного обладнання каркасних просторових компонок / Д. О. Дмитрієв, С. А. Русанов, А. А. Омельчук, Д. Д. Федорчук // Mechanics and Advanced Technologies. – 2017. – №3 (81). – Р. 54-62.

22. Електричні схеми – види, призначення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vse-e.com/ua/novosti/elektricheskie-shemy-vidy-naznachenie?srsId=AfmBOooo3yCnYD2ZgnZqx2MS_vr_eKgNfDb1sdUj14Sh6PwlzLg8PIuT.

23. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання / А.В. Гайдамака. – Харків : НТУ «ХП», 2020. – 275 с

24. Деталі машин: підручник / Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін.]. – К. : Агроосвіта, 2013. – 448 с.

25. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. - Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с

26. Деталі машин і основи конструювання : конспект лекцій / укладач В. В. Стрелец. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 150 с.

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		72

ДОДАТОК А

					БРМА25.00.00.000 ПЗ	Лист
Змір.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата		73