

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів дробарки ударно-відбивної дії

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-22
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Чеверда Поліна Сергіївна

Керівник: _____ Пугач Андрій Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро 2023

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Освітній ступінь: «Магістр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ »

2023 р.

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чеверді Поліні Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів дробарки ударно-відбивної дії

керівник роботи Пугач Андрій Миколайович, д.н. держ. упр., к.т.н., проф.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«09» листопада 2023 року № 3422

2. Строк подання студентом роботи 24.11.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи Огляд стану питання в галузі машинобудування та існуючих машин. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз сучасного стану проблеми та завдання досліджень 2. Теоретичні дослідження параметрів дробарки 3. Програма та методика експериментальних досліджень 4. Експериментальні дослідження 5. Охорона праці та захист в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Деркач О.Д., доцент		
6	Вінніченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 20.09.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2023 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2023 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2023 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 17.10.2023 р.	Виконав
5	Економічний	до 07.11.2023 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 14.11.2023 р.	Виконав

Студент

_____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ .
(підпис) (прізвище та ініціали)

<i>Фрм</i>	<i>Зона</i>	<i>Поз.</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Примітка</i>
A4		1	52.ДР.044.000000.ПЗ	Пояснювальна записка		
				Графічні матеріали		
		2	52.ДР.044.000002	Мета і задачі досліджень		
		3	52.ДР.044.000003	Аналіз існуючих конструкцій		
		4	52.ДР.044.000004	Теоретичні дослідження		
		5	52.ДР.044.000005	Програма досліджень		
		6	52.ДР.044.000006	Результати досліджень		
		7	52.ДР.044.000007	Економічні показники		
		8	52.ДР.044.000008	Висновки		
				52.ДР.044.000000.ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		
<i>Розроб.</i>		Чеверда П.С.			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		Пугач А.М.				<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>						3
<i>Н. Контр.</i>		Теслюк Г.В.			Відомість дипломної роботи	
<i>Затверд.</i>		Теслюк Г.В.				
						ДДАБУ

РЕФЕРАТ

Чеверда П. С. Обґрунтування технологічного процесу та конструктивних параметрів дробарки ударно-відбивної дії / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2023.

У **першому розділі** представлено стан проблеми в напрямку процесу подрібнення зернових матеріалів.

У **другому розділі** проведено теоретичні обґрунтування конструкційних і технологічних параметрів дробарки.

У **третьому розділі** представлено програму та методику експериментальних досліджень.

У **четвертому розділі** приведено результати експериментальних досліджень

У **п'ятому розділі** приведено аналіз стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

У **шостому розділі** приведено оцінку економічної ефективності від впровадження

Ключові слова: ударно-відбивна дія, сепарація, подрібнення зерна, повітряно-продуктовий потік, робоча камера.

Чеверда П.С. Огляд конструкцій робочих органів для подрібнення зерна / П.С. Чеверда // Proceeding of XII International Scientific and Practical Conference Stockholm, Sweden. 20-22 November 2023 P. 40-43.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	11
1.1 Огляд конструкцій дробарок зерна.....	11
1.2 Огляд конструкцій робочих органів дробарок для подрібнення зернового матеріалу.....	15
Висновки.....	22
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРКИ.....	23
2.1 Обґрунтуванням конструкції молоткової дробарки.....	23
2.2 Дослідження руху зернівки по билу молоткової дробарки ударно-відбивної дії.....	25
2.3 Визначення траєкторії руху частинок в камері подрібнення молоткової дробарки.....	29
Висновки.....	34
3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ...35	
3.1 Програма експериментальних досліджень	35
3.2 Прилади та обладнання для дослідження робочого процесу молоткової дробарки ударно-відбивної дії.....	37
Висновки.....	38
4 ЕКСПЕРИМЕНТАДБНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	39
4.1 Визначення основних показників процесу подрібнення в дробарці зерна ударно-відбивної дії.....	39
4.2 Вибір критеріїв оптимізації.....	39
4.3 Методика проведення багатофакторного експерименту.....	42
4.4 Результати досліджень молоткової дробарки.....	43
4.5 Результати оптимізації молоткової дробарки ударно-відбивної дії.....	44
Висновки.....	45
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	47
Висновки.....	51

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	52
Висновки.....	54
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	62

ВСТУП

Подрібнення зерна - це процес подрібнення або розмелювання зерна зернових культур, таких як пшениця, кукурудза, рис, ячмінь тощо, для отримання борошна або борошноподібної маси, яка потім використовується у виробництві. Цей процес може проходити на різних стадіях виробництва

Процес подрібнення зерна: підготовка зерна (зерно може бути спочатку очищене від забруднень, шкідливих домішок або оболонки, щоб підвищити якість подрібнення), механічне подрібнення (зазвичай використовують спеціалізовані пристрої або машини, які розмільчують зерно; це може відбуватися за допомогою млинів, дробарок або вальцевих станів, залежно від типу зерна та бажаного результату), класифікація продукту (після подрібнення продукт може бути класифікований за розміром або якістю, щоб виділити різні фракції зерна для використання у виробництві), упаковка та використання (після обробки продукт може бути упакований у відповідний спосіб для зберігання або реалізації).

Звичайно, дробарки для зерна відіграють важливу роль у сучасному сільському господарстві, забезпечуючи процес обробки зернових культур більш ефективним і продуктивним способом.

В сільському господарстві сучасного світу інновації відіграють ключову роль у підвищенні продуктивності та ефективності виробництва. Однією із ключових технологій, значно покращуючих процес обробки зернових, є дробарки для зерна. Ці пристрої представляють собою важливу складову сільськогосподарського обладнання, що забезпечує оптимальну обробку зерна та максимальне вилучення цінних компонентів.

З розвитком сільського господарства та збільшенням потреб у виробництві харчових продуктів стає очевидною необхідність оптимізації процесів переробки зерна. Дробарки для зерна грають вирішальну роль у цьому процесі, їх різноманітність і функціональні можливості роблять їх важливою складовою сучасного агробізнесу.

Одним із ключових аспектів, який варто підкреслити є адаптивність дробарок для зерна під різні види зернових культур.

Вони спроектовані таким чином, щоб ефективно обробляти не тільки основні злакові, такі як пшениця або кукурудза, але й інші менш відомі або екзотичні види зернових. Це розширює можливості аграрних підприємств і сприяє різноманітності в сільському господарстві.

Завдяки ретельно продуманим методам обробки зерна, ці пристрої мінімізують вміст харчових речовин, зберігаючи цінні компоненти, такі як білки, вітаміни та мінерали. Це важливо як для забезпечення якості кінцевої продукції, так і для економічної вигоди виробників.

Крім того, сучасні дробарки для зерна оснащені передовими технологіями, включаючи системи моніторингу та управління, що дозволяє оптимізувати процес обробки під конкретні вимоги. Це включає контроль швидкості, температури та інших параметрів, що забезпечують максимальну ефективність і збереження зерна.

Одним із найважливіших аспектів, який варто згадати, є значний вплив дробарок на процес зберігання зерна. Після обробки зерно володіє більш рівномірними характеристиками, що покращує і покращує умови його зберігання. Це дозволяє сільськогосподарським підприємствам зменшити витрати під час зберігання, зберігаючи якість і цінність зерна протягом тривалого часу.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є збільшення ефективності процесу подрібнення зерна дробаркою ударно-відбивної дії.

Для досягнення мети в роботі були визначені наступні завдання:

- розробка нової конструкції ударної дробарки.
- отримання математичних залежностей для опису відносного руху зерна вздовж ударного ротора молоткової дробарки, розрахунку траєкторії руху частинки та визначення місця її виходу з камери;
- отримання регресійних моделей процесу роботи ударної дробарки та обґрунтування її основних конструктивно-технологічних параметрів за критеріями ефективності;
- визначення економічної та енергетичної ефективності ударної молоткової дробарки за результатами виробничих випробувань.

Об'єктом дослідження є молоткова дробарка ударно-відбивної дії.

Предметом є закономірності технологічного процесу, що впливають на

процес подрібнення зерна в дробарці.

Методи дослідження. Використано метод системного дослідження, теорію планування експерименту, методи фізико-математичного моделювання, математичного аналізу, теорію подібності.

Наукова новизна отриманих результатів.

- запропоновано конструкцію модернізованої дробарки;

- виведено математичні залежності, що описують рух подрібнених частинок в робочій камері дробарки;

- представлено результати експериментальних досліджень по визначенню раціональних конструкційних і технологічних параметрів молоткової дробарки ударно- відбивної дії.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри. Виведено аналітичні залежності для визначення зв'язку між конструктивними, кінематичними та силовими параметрами механізмів. Проведено експериментальні дослідження, за результатами яких визначено відповідність теоретичних залежностей реальним процесам.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд конструкцій дробарок зерна

Молоткова дробарка повинна не тільки мати низькі енерговитрати в процесі подрібнення, але і забезпечувати рівномірність подрібнення матеріалу. Цього можна досягти шляхом оптимізації існуючих конструкцій зернодробарок і розробки нових. В даний час існує велика кількість зернодробарок, що відрізняються конструкцією. Найбільш поширені дробарки з обертовими ударними робочими органами. Такі молоткові дробарки прийнято називати роторними. Нами розроблена схема класифікації роторних зернодробарок за конструктивними ознаками, яка наведена на рис. 1.1. На практиці ці особливості поєднуються в різних конструкціях дробарок.

За розташуванням вала ротора дробарки поділяються на дробарки з вертикальним розташуванням і дробарки з горизонтальним розташуванням вала ротора. Найбільш поширена класична схема молоткової дробарки з горизонтальним розташуванням валу ротора. Вертикальне розташування вала ротора часто використовується в дробарках малої продуктивності з робочими органами у вигляді ножів, у відцентрових дробарках, а також у багатоступінчастих дробарках, де рух подрібненого продукту між стадіями відбувається переважно за рахунок сили тяжіння.

За способом кріплення дробарки поділяють на апарати із шарнірно закріпленими на роторі молотками з жорстко закріпленими на роторі робочими органами (молоткові дробарки). Найбільше поширення для подрібнення зерна отримали молоткові дробарки завдяки відносній простоті, надійності та зручності обслуговування. Подрібнювачі жорстких туків зустрічаються набагато рідше, хоча вони мають масу переваг.

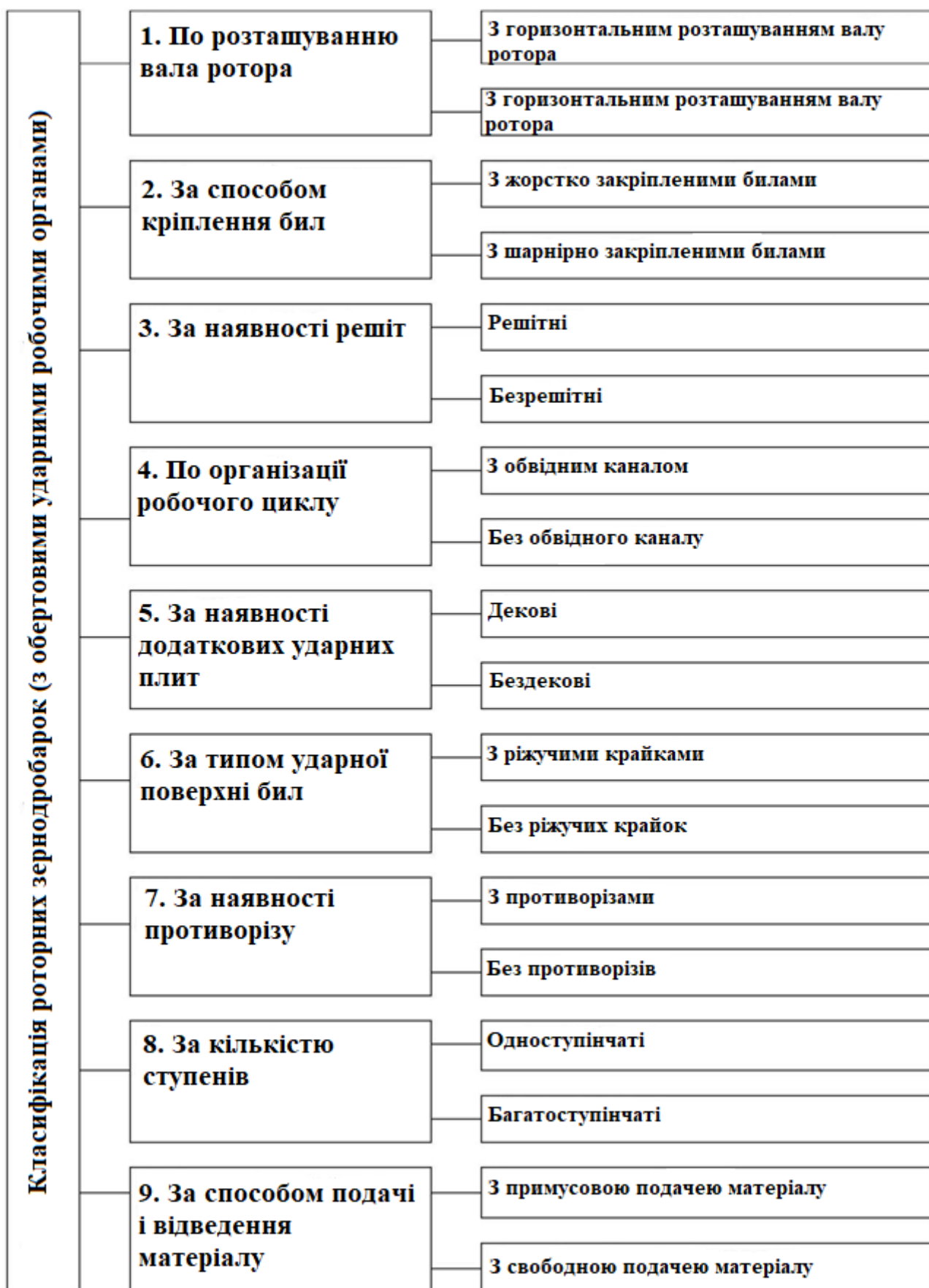


Рисунок 1.1 - Класифікація роторних дробарок зерна



Рисунок 1.2 - Схема робочого процесу молоткової дробарки без обвідного каналу

Залежно від того, як реалізований робочий цикл, роторні подрібнювачі можна розділити на дробарки з відкритим і закритим циклом. У замкнутому циклі (рис.1.2) матеріал циркулює через камеру подрібнення, а потім вивантажується через сито. У відкритому циклі, з іншого боку, дрібна фракція відокремлюється від крупної потоком повітря в обвідному каналі і виводиться назовні, тоді як крупна фракція повертається в дробильну камеру для подальшого подрібнення (рис. 1.3). Молоткові дробарки також можна розділити на бездекові та декові, залежно від наявності або відсутності ударних плит. У декових дробарках матеріал вдаряється об додаткову ударну поверхню і відскакує від молотка. Як правило, дека має рифлену поверхню. У бездекових дробарках немає деки, і дроблення відбувається в основному за рахунок ударів і тертя зерна об молотки і решета.

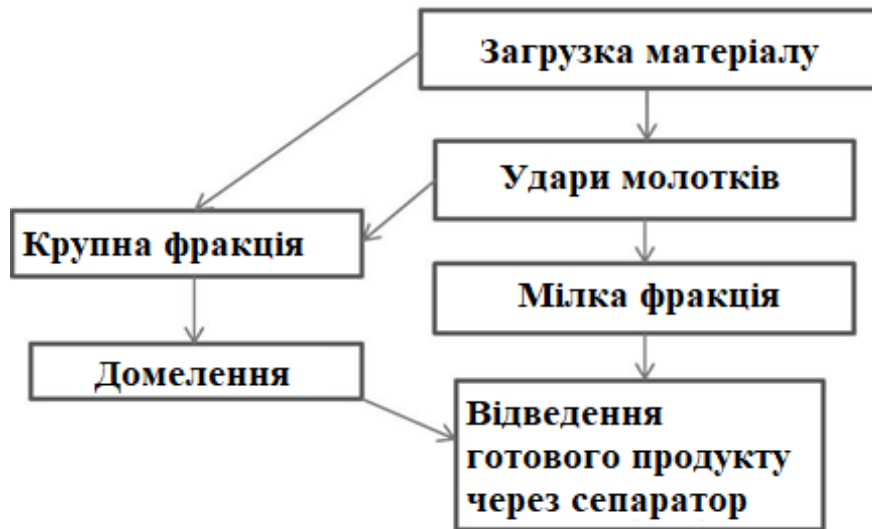


Рис 1.3 - Схема робочого процесу молоткової дробарки з обвідним каналом

Залежно від типу ударної поверхні, молоткові дробарки можна розділити на дробарки з плоскою ударною поверхнею і дробарки з ріжучими кромками. Кулі з ріжучими кромками широкодоступні на ринку і широко використовуються в ножових млинах і роторних ножових дробарках малої продуктивності, в основному орієнтованих на невеликі фермерські господарства.

Роторні дробарки також можна класифікувати відповідно до того, чи є вони протирізальними чи ні. Як правило, в ножових дробарках використовуються протирізи. Зустрічні різання зменшують зазор між рухомими і нерухомими тілами або між робочими органами, що обертаються з різною швидкістю і в різних напрямках, тим самим підвищуючи ефективність дроблення. За кількістю стадій дроблення дробарки поділяються на одностадійні і багатостадійні. Багатостадійні дробарки подрібнюють продукт послідовно, що забезпечує високу рівномірність дроблення. Недоліками таких дробарок є складність конструкції, висока металоємність та великі габарити.

1.2. Огляд конструкцій робочих органів дробарок для подрібнення зернового матеріалу

Роторні дробарки, також відомі як молоткові дробарки, найчастіше використовуються для подрібнення зерна на корм. Класична конструкція молотка - це прямокутна металева пластина з двома отворами. За допомогою одного отвору молоток кріпиться до монтажного валу, другий отвір використовується, коли виникає необхідність перевернути молоток дробарки через зношування. Таким чином, молоткова дробарка класична має чотири робочі поверхні, які використовуються послідовно в процесі зносу матеріалу шляхом повороту і перевертання молотка. Можливість зміни положення молотка, простота конструкції і виготовлення та низька матеріаломісткість класичного молотка є перевагами, які забезпечили йому широке застосування. Шарнірна підвіска молотка в основному обумовлена його обертанням, перекиданням і можливістю заміни.

Для підвищення ефективності дроблення конструкція робочого органу може бути змінена. Наприклад, на практиці широко застосовуються молотки зі ступінчастими робочими поверхнями, гострими робочими краями і багатьма іншими робочими кромками.

Наприклад, молоткові конструкції (рис. 1.4) має корпус 1 з отвором 2 для шарнірного кріплення до ротора і робочу частину 3, на якій закріплений щілиноподібний зовнішній елемент 4, що охоплює молоток збоку. При цьому міцність матеріалу зовнішнього елемента вища, ніж міцність матеріалу проміжного елемента 3, завдяки чому проміжний елемент зношується інтенсивніше, ніж зовнішній, що запобігає боковому сповзанню подрібнюваних часток.

Також відомий молоток молоткової дробарки (рис. 1.5), призначений для подрібнення матеріалів в будівельній, гірничо-обробної та інших галузях промисловості. Такий молоток має підвіс 1, за допомогою отворів 2 кріпиться на роторі, і ударну частину 3, на зовнішній поверхні має трикутні рифлення.

Ударна частина встановлюється на підвісі через підшипник ковзання 4 з

можливістю її осьового обертання і фіксується від поступального переміщення по підвісу гайкою 5. Дана конструкція спрямована на підвищення довговічності робочого органу та ефективності подрібнення.

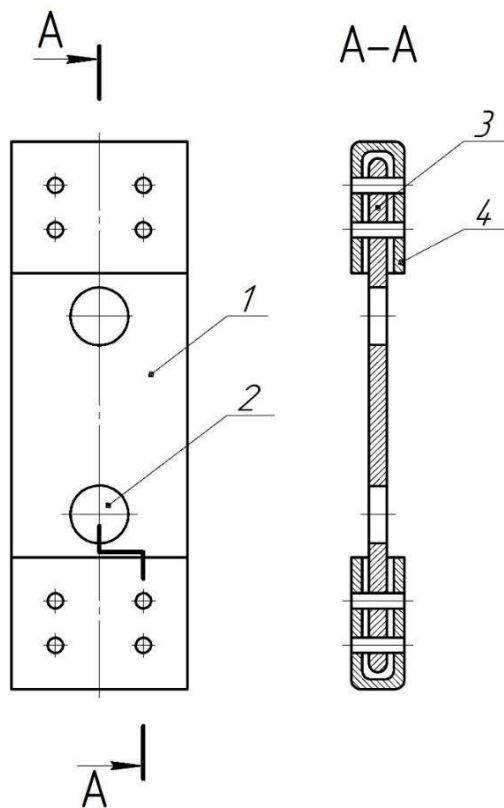


Рисунок 1.4 - Молоток дробарки

Також з метою підвищення ефективності подрібнення був розроблений молоток дробарки (рис. 1.6), який має несучий молоток 1 і два додаткових 2, які шарнірно закріплені на кінці несучого молотка 1 за допомогою осі 4, що знаходиться під втулці 3. При цьому додаткові молотки 2 мають можливість обертатися також відносно несучого молотка 1 на своїй осі, що забезпечує рівномірний знос молотків 2 без необхідності їх перестановки в процесі роботи. Крім того, наявність маси на кінці молотка забезпечує підвищення інтенсивності подрібнення. Для забезпечення врівноваженості на удар авторами пристрою отримані рівняння, яким повинні задовольняти розміри несучого молотка.

Відомий робочий орган роторної дробарки по (рис. 1.7), який містить на одній осі обертання одну або кілька внутрішніх рамок 1 і зовнішню рамку 2, в поперечному розрізі має вигляд опуклого п'ятикутника, симетричного відносно осі, що проходить через вісь обертання. Кут при вершині п'ятикутника, що

лежить на осі симетрії, складає від 90 до 180 градусів, причому кожна сторона 5 цього кута має як мінімум одну щілину 6, паралельну осі обертання робочого органу. Рамки мають робочі кромки 4, щілина 6 має ріжучу кромку 7, яка також бере участь в подрібненні. Дана конструкція дозволяє збільшити продуктивність подрібнення за рахунок збільшення робочих поверхонь і ріжучих крайок, а також примусового відведення подрібненого продукту з камери дроблення за рахунок кута при вершині.

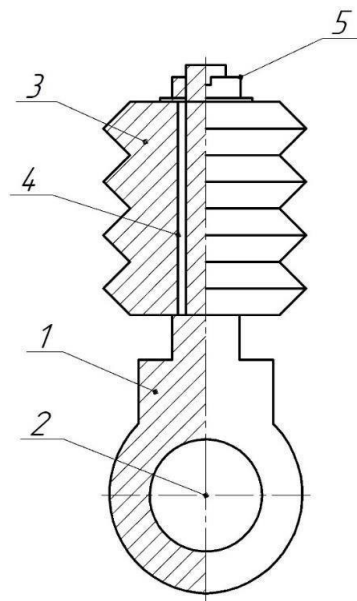


Рисунок 1.5 - Молоток молоткової дробарки

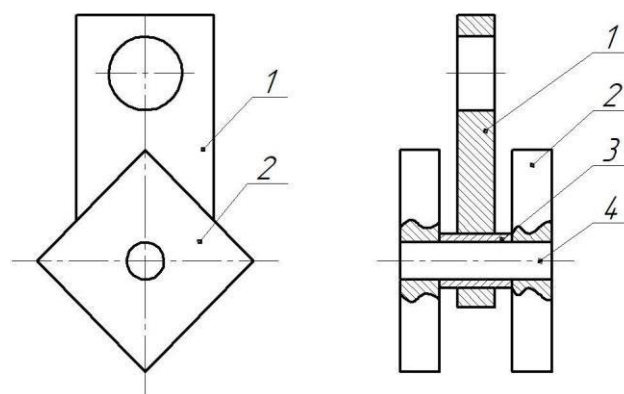


Рисунок 1.6 – Молоток дробарки

Відомий молоток молоткової дробарки кормів (рис. 1.8), виконаний у вигляді тригранної призми 1, що має дві стійки 2 для шарнірного кріплення

молотка на роторі. На ударній робочій поверхні, розташованій паралельно осі обертання ротора, по всій довжині молотка є дві гострі ріжучі кромки 4.

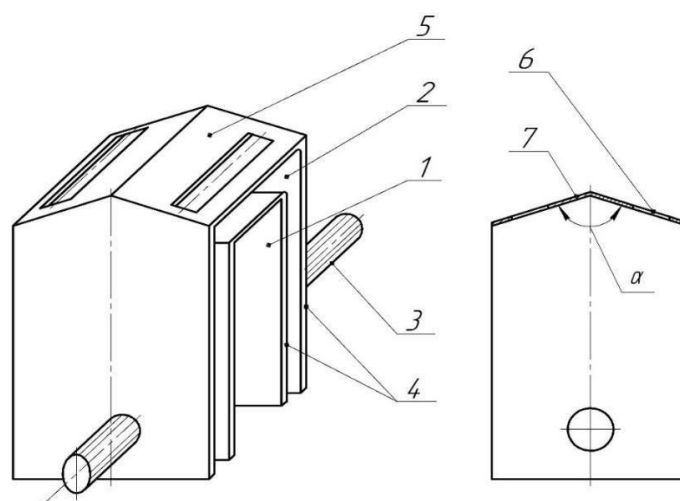


Рисунок 1.7 - Робочий орган роторної дробарки

Дана конструкція молотка розроблена з метою подрібнення зернового матеріалу способом сколювання-зріз завдяки ріжучим краям ударної робочої поверхні.

Також в описі патенту зазначена можливість різання при подрібненні грубих кормів.

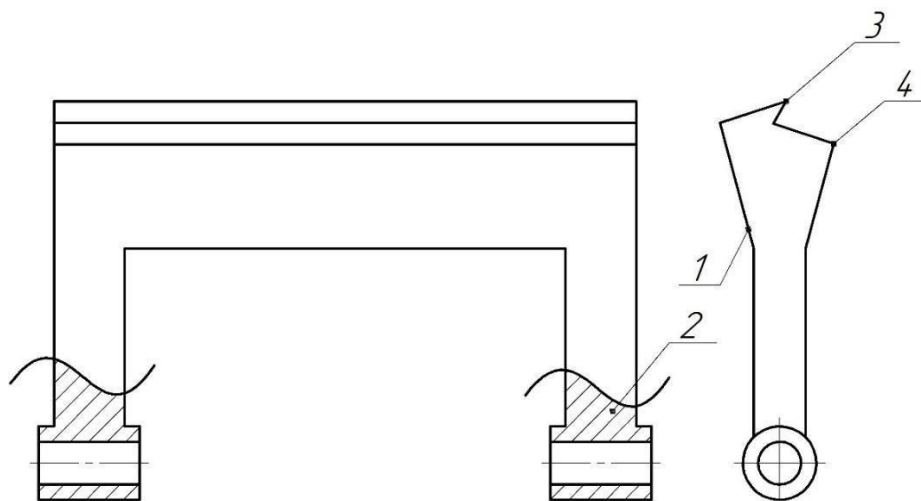


Рисунок 1.8 - Молоток молоткової дробарки кормів

Цікавою є дробарка (рис. 1.9), що містить молотковий ротор, розташований в робочій камері 10, яка обмежена з торцевих сторін жалюзійними решетами 9 і декою 7 на циліндричній поверхні з завантажувальним вікном бункера 8. При

цьому молотки 5, що примикають до жалюзійного решета 9, розгорнуті по гвинтовій лінії в напрямку, протилежному напрямку відгибу ступок решета.

Дробарка працює в такий спосіб. Матеріал, який підлягає подрібненню, через завантажувальне вікно бункера 8 надходить в робочу камеру, де піддається впливу обертового ротора, внаслідок чого перемелюється. Завдяки вигину молотків 5, що примикають до жалюзійного решета, ротор працює за принципом осьового вентилятора і подрібнений матеріал направляється уздовж осі ротора до жалюзійного решета 9, через отвори які відводяться в осаджувальні камери 10, а далі в вивантажний пристрій. Завдяки даній конструкції робочих органів забезпечується своєчасне відведення подрібненого матеріалу з камери дробарки.

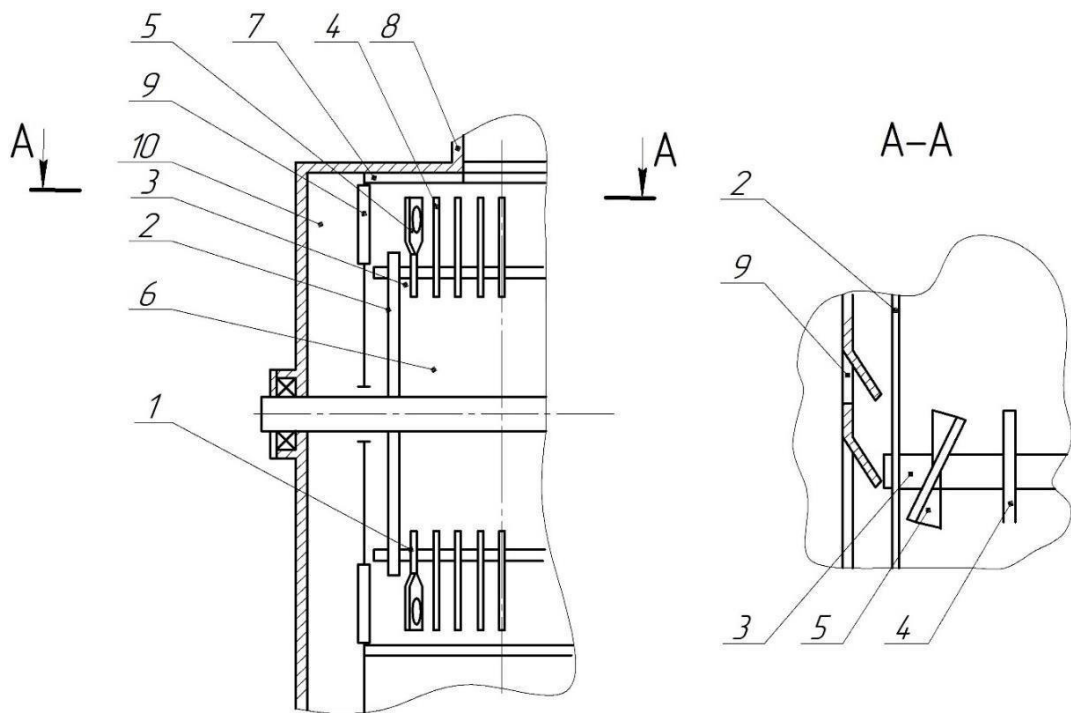


Рисунок 1.9 - Дробарка

Особливий інтерес для нашого дослідження представляє пристрій для подрібнення зерна (рис. 1.10), що має корпус у вигляді усіченого конуса 1 з примикаючими до нього з торців завантажувальним 2 і вивантажним 3 патрубками. Завантажувальний патрубок забезпечений шиберною заслінкою 9. Ротор молоткової дробарки закріплений на горизонтально розташованому валу 4 і виконаний у вигляді лопатевого колеса 5. На цьому ж валу розташований конусоподібний екрануючий елемент 7, спрямований до основи конуса

вершиною. Вал 4 забезпечений поздовжніми пазами 6, екрануючий елемент 7 - механізмом осьового переміщення 8, за допомогою якого можна регулювати зазор h між екрануючим елементом 7 і внутрішньою поверхнею корпусу 1, а конусність зовнішньої поверхні екрануючого елемента 7 відповідає конусності внутрішньої поверхні конуса.

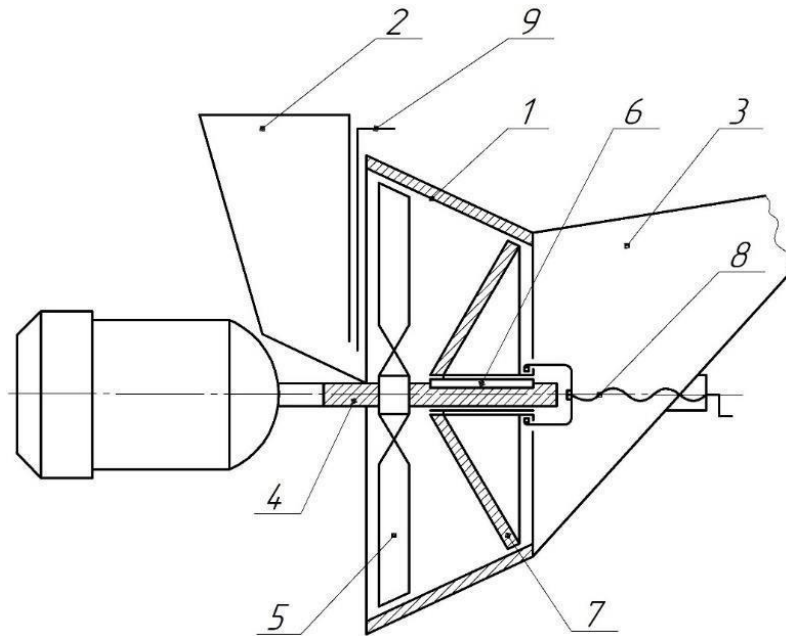


Рисунок 1.10 - Молоткова дробарка

Пристрій працює наступним чином. При відкритті шиберної заслінки 9 подрібнюється матеріал через завантажувальний патрубок 2 надходить всередину усіченого конуса 1, де потрапляє під удари лопатевого колеса 5, після чого вдаряється об внутрішню поверхню усіченого конуса 1 і назовнішню поверхню конусоподібного екрануючого елемента 7, а потім знову прямує до лопатевого колеса 5, внаслідок чого подрібнюється до розмірів, необхідних для безперешкодного проходження через зазор h між екрануючим елементом 7 і внутрішньою поверхнею корпусу 1 далі в вивантажуючий пристрій 3. Якщо ж матеріал не досягає необхідних розмірів, то він домелюється вже за рахунок тертя об поверхні конусів і відводиться в вивантажний пристрій 3.

Цей пристрій має оригінальну конструкцію робочого органу у вигляді лопатевого колеса, жорстко закріпленого на роторі, а також зрізаних конусів, завдяки яким відбувається багаторазовий удар подрібнюючого матеріалу. Також

особливістю даного пристрою є можливість гнучкого безступінчастого регулювання розміру подрібнення зерна і відсутність решіт. Однак масового поширення дана конструкція молоткової дробарки не отримала внаслідок складності пристрою і невисоку пропускну здатність.

Також інтерес представляють молоткової дробарки, де в якості робочого органу виступає єдина жорстко закріплена на валу і пластина (ніж). Такі дробарки ми виділимо в окремий клас і назвемо їх дробарки з ножовими робочими органами. Розглянемо конструкцію такої дробарки на прикладі одного пристрою.

Пристрій для подрібнення зерна (рис. 1.11) має корпус з отворами для вала двигуна і для подачі подрібнюючого матеріалу, на якому закріплений завантажувальний бункер 1, сито 2, відбивач 3, електродвигун 4 з жорстко встановленим на його валу 5 робочим органом у вигляді пластини 6, площина обертання периферійної ударної частини якої проходить під вікном в дні 7 для виходу зерна.

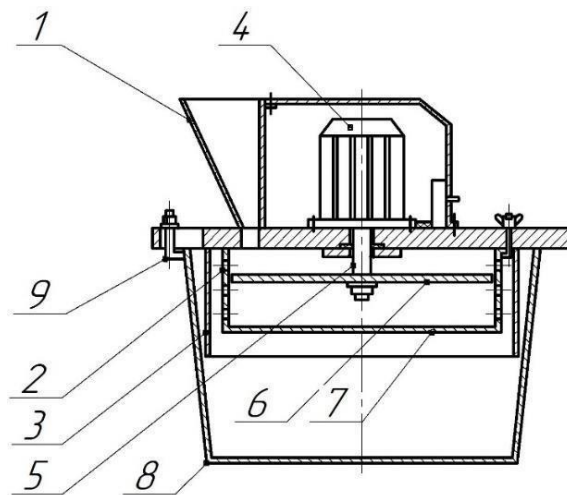


Рисунок 1.11 – Дробарка

Пристрій встановлюється на тару-збірник 8 і кріпиться за допомогою фіксаторів 9. Подрібнюємо матеріал через отвори в завантажувальному бункері 1 і корпусі надходить в зону площині обертання периферійної ударної частини пластини 6, де піддається її ударам і подрібнюється, а далі вже подрібнений продукт відводиться через отвори сита 2, відбивається відбивачем 3 і надходить

в тару-збірник 8.

Подрібнювачі з ножовими робочими органами мають ряд суттєвих недоліків в порівнянні з молотковими дробарками зерна:

- інтенсивне спрацювання робочих органів;
- різке зниження якості помелу як наслідок спрацювання робочих органів;
- питомі енерговитрати високі в порівнянні з дробарками більшої продуктивності.

На сьогоднішній день серійно виготовляються вітчизняними та зарубіжними виробниками і активно використовуються в сільському господарстві молоткові дробарки і подрібнювачі з ножовими робочими органами. Молоткові молоткової дробарки використовуються в середніх і великих підприємствах, де необхідні високі продуктивність і ресурс, а габарити і складність конструкції не мають особливого значення. Крім того, переважно молоткові молоткової дробарки використовуються на підприємствах, що займаються виробництвом комбінованих кормів і обладнання для них.

Подрібнювачі з ножовими робочими органами використовуються переважно в особистих підсобних господарствах, де не потрібна висока продуктивність і потужність приводу, але необхідна низька ціна і простота конструкції.

Висновки

В результаті проведеного огляду з'ясували, що необхідні подальші випробовування, спрямовані на поліпшення конструкції дробарки за рахунок вдосконалення її робочих органів і використання нових процесів подрібнення.

При цьому отримання якісного готового продукту, відповідного зоотехнічним вимогам для всіх груп сільськогосподарських тварин, є важливим завданням. Є необхідність збільшення ефективності процесу подрібнення зерна шляхом вдосконалення конструкційних і технологічних параметрів дробарки.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРКИ

2.1 Обґрунтування конструкції молоткової дробарки

Найважливішою характеристикою роботи молоткової дробарки є сукупність таких показників, як: енерговитрати на подрібнення, ступінь подрібнення зерна і продуктивність дробарки. Огляд наукових досліджень і конструкцій існуючих дробарок зерна, проведений у розділі 1, дозволив зробити висновок, що для отримання найкращих показників при вдосконаленні існуючих дробарок зерна і розробці принципово нових конструкцій особливо увагу необхідно приділяти швидкості обертання робочих органів, організації повітряного потоку в камері дроблення, збільшення сепаруючої поверхні, збільшення ресурсу робочих органів.

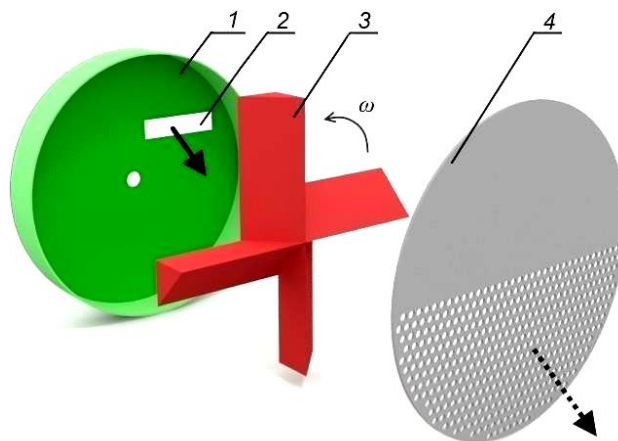


Рисунок 2.1 - Схема молоткової дробарки ударно-відбивної дії: 1 - корпус робочої камери; 2 - на пластину; 3 - ротор з жорстко установленими билами, ударна поверхня яких розгорнута щодо повздовжньої осі; 4 - торцева стінка з решетом; - → подача матеріалу, що подрібнюється матеріалу; - - → вихід подрібненого матеріалу

У зв'язку з цим розробка молоткової дробарки ударно-відбивної дії і оптимізації її параметрів є актуальним завданням. Робочий процес молоткових дробарок досить докладно вивчався багатьма авторами. Розроблена молоткова дробарка має оригінальну конструкцію і для опису її робочого процесу ми не

можемо використовувати теорію опису робочого процесу молоткових дробарок зерна. У робочу камеру найбільш поширеної молоткової дробарки матеріал надходить через отвір у верхній частині, де піддається в основному прямим ударами кінців шарнірно підвішених на роторі молотків, після чого основна частина подрібненого продукту направляється до решета, встановленого по периферії камери подрібнення.

Робочий процес розробленої молоткової дробарки відрізняється наступним:

- в якості робочого органу використовуються не шарнірно підвішені молотки, а жорстко встановлені на роторі била;
- матеріал надходить в камери не через отвір в верхній частині робочої камери, а через отвір в торцевій стінці;
- матеріал піддається не прямому удару молотків, а взаємодіє з поверхнею бил, розгорнутої на певний кут відносно поздовжньої осі бил;
- після взаємодії з поверхнею бил матеріал направляється переважно не до периферійного решета, а розподіляється між периферійними і торцевими решетами.

Сукупність перерахованих вище умов викликає необхідність математичного опису особливостей конструкції молоткової дробарки, впливу її на рух зернівки в камері подрібнення і взаємодії зернівки з робочими органами молоткової дробарки ударно-відбивної дії.

Проведено теоретичне моделювання руху частинки в камері подрібнення молоткової дробарки ударно-відбивної дії. Ґрунтуючись на загальних законах механіки відносного руху і за допомогою математичних перетворень, отримані рівняння, які дозволяють спрогнозувати положення частинки в камері подрібнення, кінематичні характеристики як похідні координат за часом і представити її рух в графічному вигляді в залежності і від кута повороту ротора при заданих параметрах, що дає можливість побачити поведінку частинки, що знаходиться в камері подрібнення. Вона або ковзає по білам, після чого сходиться на решета під дією відцентрової сили, або піддається удару била і відразу після

цього потрапляє на решета. При заданих характеристиках ротора його окружна швидкість близько 70 м/с забезпечує інтенсивне руйнування зернівки при ударі об било або решета.

2.2 Дослідження руху зернівки по билу молоткової дробарки ударно- відбивної дії

Описуючи рух зернівки в камері подрібнення математично, приймаємо наступні допущення: частка має форму кулі (рис. 2.2), розташована на билі і рухається поодинокі, а повітряний потік постійний по швидкості, напрямком і величиною.

Рівняння площини руху в рухомих осях паралельно осі x :

$$z = ky - b, \quad (2.1)$$

де $k = \operatorname{tg} \alpha$ – кутовий коефіцієнт.

$$m\vec{w}_r = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_m + \vec{F}_e + \vec{F}_c, \quad (2.2)$$

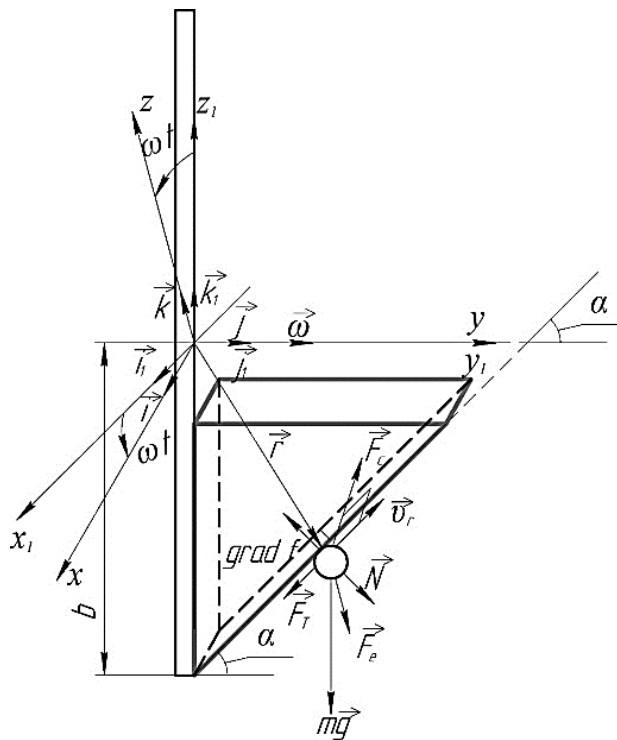


Рисунок 2.2 - Рух зернівки по билу в камері подрібнення: z, x, y - рухомі осі; z_1, x_1, y_1 - нерухомі осі

Відповідно, системі відліку, що обертається

$$\begin{cases} mg_x = mg \sin(\omega t); \\ mg_y = 0; \\ mg_z = (-mg) \cos(\omega t), \end{cases} \quad (2.3)$$

Підставивши у вихідне диференціальне рівняння проекції всіх сил на осі (хуz), отримаємо:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin \omega t - |\lambda|\sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + m\omega^2 x - 2m\omega\dot{z}; \\ m\ddot{y} = -k\lambda - |\lambda|\sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}; \\ m\ddot{z} = -mg \cos(\omega t) + \lambda - |\lambda|\sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} + m\omega^2 z + 2m\omega\dot{x}; \end{cases} \quad (2.4)$$

Отримаємо умови для розв'язання задачі Коші. Проведемо кількісне рішення диференціальних рівнянь [5; 54]. З рівняння зв'язку отримаємо

$$\begin{cases} z = ky - b; \\ \dot{z} = k\dot{y}; \\ \ddot{z} = k\ddot{y}. \end{cases} \quad (2.5)$$

Представимо множник λ з другого і третього рівнянь як функцію часу при $m = 1$:

$$\ddot{y} = -k\lambda + F_{m y}; \quad (2.6)$$

$$\ddot{z} = k\ddot{y} = -k^2\lambda + kF_{m y}; \quad (2.7)$$

$$-k^2\lambda + kF_{m y} - \lambda = -g \cos \omega t + F_{m z} + \omega^2 z + 2\omega\dot{x}; \quad (2.8)$$

$$-\lambda(1 + k^2) = -kF_{m y} + F_{m y} - g \cos \omega t + \omega^2 z + 2\omega\dot{x}; \quad (2.9)$$

$$\lambda = \frac{1}{(1+k^2)} (-F_{mz} + kF_{my} + g \cos \omega t - \omega^2 z - 2\omega \dot{x}); \quad (2.10)$$

$$\lambda = \frac{1}{(1+k^2)} (g \cos \omega t - \omega^2 z - 2\omega \dot{x}), \quad (2.11)$$

так як $-\dot{z} + k\dot{y} = 0$.

Відзначимо, що $\vec{N} = \lambda \text{grad } f$ при $\lambda < 0$ нормальна реакція біла $N > 0$.

Значить, при значенні λ менше нуля, зернівка буде рухатися по білу.

Координату z (t) визначимо за рівнянням зв'язку (2.1). В результаті отримали систему рівнянь з початковими умовами (2.21) для чисельного рішення

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \sin \omega t - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} f_m \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} + \omega^2 x - 2\omega \dot{z}; \\ \ddot{y} = -kx - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} f_m \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \lambda = \frac{1}{(1+k^2)} (g \cos \omega t - \omega^2 (ky - b) - 2\omega \dot{x}). \end{cases} \quad (2.12)$$

Спочатку повинні бути задані: кутова швидкість ротора, коефіцієнт тертя, кутовий коефіцієнт, час і деяке дійсне число.

Для порівняння брали число $b = \pm 0,05$ м, раніше зафіксований оптимальний кутовий коефіцієнт (кут нахилу площини) $k = 1$ ($\alpha = 45^\circ$) при кутовій швидкості $\omega = 300$ с⁻¹, $\lambda_0 = -100$ і коефіцієнті тертя $f = 0,1$. Дослідження проводили з інтервалом часу $\Delta t = 0,0001$ с. Після підстановки початкових умов в програму отримуємо дійсні значення за часом, що показують положення зернівки, її швидкості, прискорення і множник λ . У нашому випадку зміна множника Лагранжа, викликаючого найбільший інтерес, уявімо в графічному вигляді (рис. 2.3). при $b = 0,05$ множник λ на першому кроці миттєво змінює знак: був $\lambda_0 = -100$ (це значення не видно, так як крок дуже малий), а потім прийняв значення $\lambda = 2254$. Це говорить про те, що зернівка при ударі об біло відразу ж відлітає на

решето. Через деякий час крива λ при $b = 0,05$ м (рис. 2.3) перетинає вісь, тобто зернівка притискається і ковзає по неіснуючій поверхні.

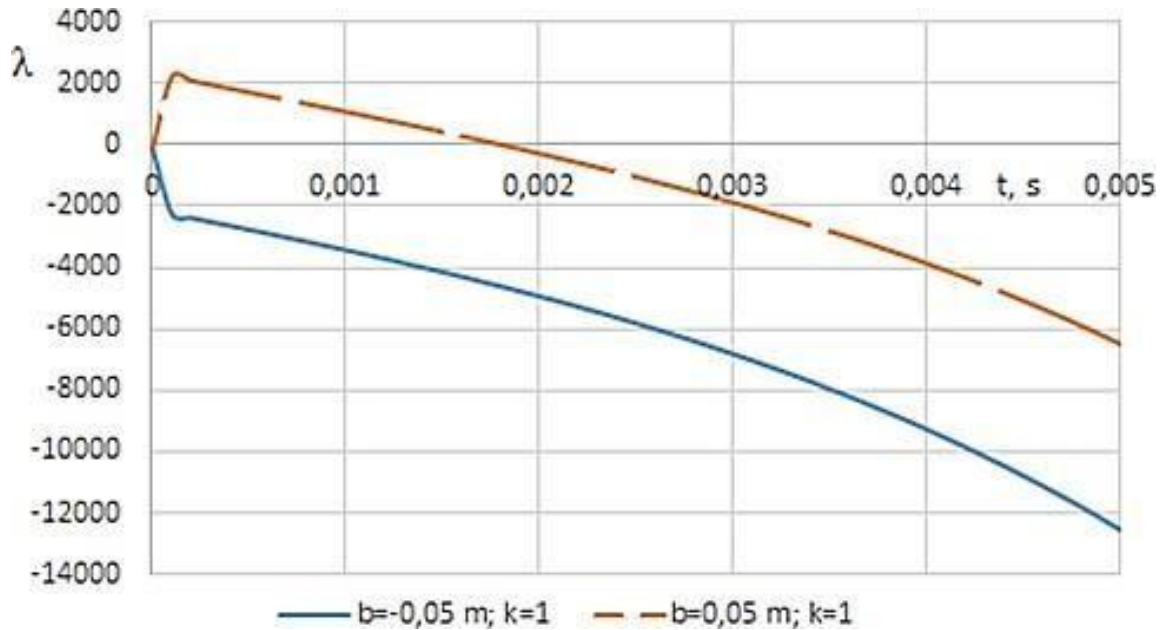


Рисунок 2.3 - Графік зміни невизначеного множника Лагранжу від часу при початковій швидкості $\dot{x} = 0$ м/с

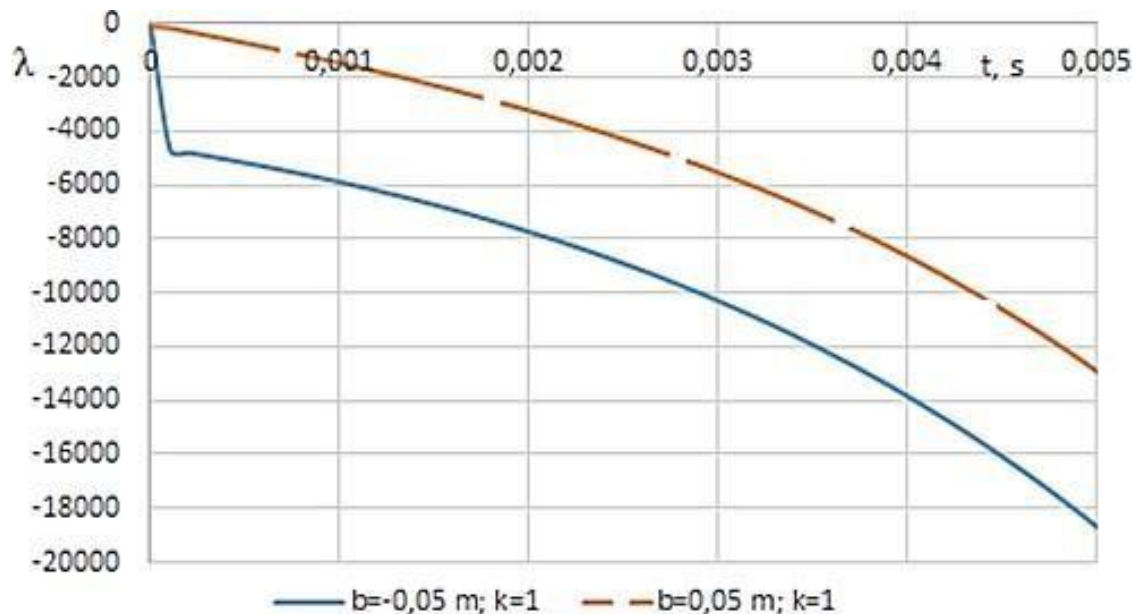


Рисунок 2.4 - Графік зміни невизначеного множника Лагранжу від часу при початковій швидкості $\dot{x} = 8$ м/с

У режимі подрібнення ударом била, навпаки, приймаємо $b > 0$ гарантує, що

зерно руйнується при ударі об барабани, а не об решето, що зменшує знос барабана.

2.3 Визначення траєкторії руху частинок в камері подрібнення молоткової дробарки

На процес подрібнення зерна величезний вплив справляє рух повітряно-продуктового потоку в камері дробарки. Рівномірний розподіл продукту між решетами дозволить збільшити продуктивність установки і знизити питому енергоємність. Домогтися поставленого завдання практичним шляхом можна за рахунок установки біла дробарки під деяким кутом α (рис. 2.5). Теоретично можна визначити оптимальне значення цього кута, розглянувши рух частинок в камері подрібнення і використовуючи методику, запропоновану в роботах. Розглянемо рух однієї зернівки для спрощення розрахунку.

Припустимо, що потрапила в камеру дробарки через завантажувальне вікно частка масою m , вдарила об біло, що обертається з кутовою швидкістю ω , і відскочила від нього зі швидкістю v_n . Подальшу траєкторію руху розглянутої частки визначає напрямок сили аеродинамічного опору R і сила гравітації.

Розглянемо схему дії сил на частку в довільний момент часу в координатах n_{tz} для визначення її траєкторії руху. Ось n проходить через центр ваги зернівки і спрямована нормально до осі ротора, вісь t також проходить через центр ваги частинки і спрямована перпендикулярно осі n . Ось z спрямована уздовж осі ротора. Також в площині ротора позначимо осі x і y , які перетинають вісь z в точці O , а утворена цими осями площину нахилена відносно вертикалі (вісь y_1) на кут α . Кутом ϵ виділяється положення нормалі n щодо осі x . Напрямок сили аеродинамічного опору R щодо нормалі n визначається кутом θ , а щодо осі z - кутом β . Також сила тяжіння спрямована вертикально вниз. Кутом γ характеризується напрямком вектора абсолютної швидкості частинки. Напрямок в просторі вектора швидкості повітря і між осями x і n зафіксуємо відповідно

кутами δ і Ψ (рис 2.5).

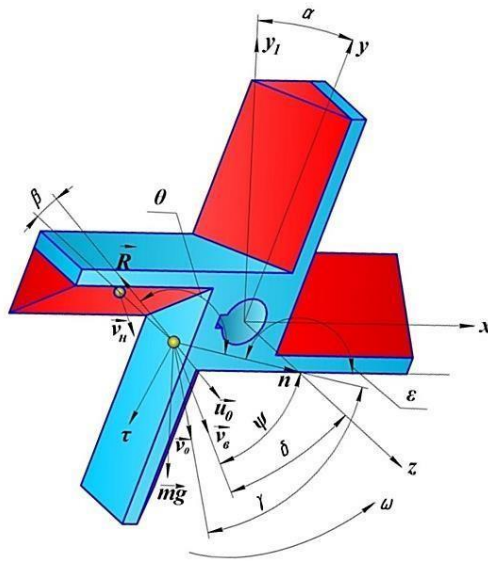


Рисунок 2.5 - Схема дії сил на частку в міжбиловому каналі

Спроекуємо отримане рівняння на нормаль n , дотичну τ і вісь z :

$$m \frac{d^2 n}{dt^2} = -R \cos \theta + mg \sin \varepsilon ;$$

$$m \frac{d^2 \tau}{dt^2} = -R \sin \theta - mg \cos \varepsilon ;$$

Вираз для визначення сили аеродинамічного опору повітряного потоку має вигляд:

$$R = m \cdot k_n \cdot u_0^2, \quad (2.13)$$

де k_n - коефіцієнт парусності;

u_0 - відносна швидкість частинки.

Скоротивши всі члени системи рівнянь на m , отримаємо:

$$\begin{cases} \frac{d^2 n}{dt^2} = -k_n u_0^2 \cos \theta + g \sin \varepsilon ; \\ \frac{d^2 \tau}{dt^2} = -k_n u_0^2 \sin \theta - g \cos \varepsilon ; \\ \frac{d^2 z}{dt^2} = -k_n u_0^2 \cos \beta - g \sin \alpha ; \end{cases} \quad (2.14)$$

Проведемо заміну $N(t)$

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = -k_n u_0 N(t) + k_n u_0 v_B \cos \psi + g \sin \varepsilon; \\ \frac{dT}{dt} = -k_n u_0 T(t) + k_n u_0 v_B \sin \psi - g \cos \varepsilon; \\ \frac{dZ}{dt} = -k_n u_0 Z(t) + k_n u_0 v_B \cos \delta - g \sin \alpha. \end{cases} \quad (2.15)$$

Застосуємо рівняння Ейлера для опису руху матеріальної точки:

$$m \frac{du_0}{dt} = -R + mg \sin \varepsilon \cos \theta. \quad (2.16)$$

Підставами значення представимо відносну швидкість так:

$$du_0 = (g \sin \varepsilon \cos \theta - k_n u_0^2) dt. \quad (2.17)$$

Згрупуємо члени виразу і інтегруємо на проміжку часу від 0 до Δt

Після інтегрування отримаємо

$$\frac{1}{k_n} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \theta}{k_n}}} \cdot \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{g \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \theta}{k_n}} + u_0}{\sqrt{\frac{g \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \theta}{k_n}} - u_0} \right| \Big|_0^{\Delta t} = t \Big|_0^{\Delta t}. \quad (2.18)$$

Інтегруємо на проміжку часу від 0 до Δt

$$\int du_0 (g \sin \varepsilon \cos \theta - k_n u_0^2) = \int dt. \quad \Delta t \ 0 \ \Delta t \ 0 \quad (2.19)$$

Виносимо за знак інтеграла коефіцієнт парусності:

$$1/k_n \int du_0 g \sin \varepsilon \cos \theta - k_n u_0^2 = \int dt. \quad \Delta t \ 0 \ \Delta t \ 0 \quad (2.20)$$

Після інтегрування отримаємо:

$$\frac{1}{k_n} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \theta}{k_n}}} \cdot \ln \left| \frac{\sqrt{\frac{g \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \theta}{k_n}} + u_0}{\sqrt{\frac{g \cdot \sin \varepsilon \cdot \cos \theta}{k_n}} - u_0} \right| \Big|_0^{\Delta t} = t \Big|_0^{\Delta t}. \quad (2.21)$$

Підставивши значення і провівши математичні перетворення, отримаємо:

$$u_0 = u_{01} + (a^2 - u_{01}^2) \cdot k_n \cdot \Delta t + \dots \quad (2.22)$$

Замінімо $u_{02} = (a^2 - u_{01}^2) \cdot k$. Тоді:

$$u_0 = u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots \quad (2.23)$$

За аналогією визначимо вирази для $N(\Delta t)$, $T(\Delta t)$, $Z(\Delta t)$.

Проведемо диференціювання рівнянь

$$\begin{aligned} N(\Delta t) &= n_0 + n_1 \cdot \Delta t + n_2 \cdot \Delta t^2 + \dots; \\ \{ T(\Delta t) &= r_0 + r_1 \cdot \Delta t + r_2 \cdot \Delta t^2 + \dots; \\ Z(\Delta t) &= z_0 + z_1 \cdot \Delta t + z_2 \cdot \Delta t^2 + \dots \end{aligned} \quad (2.24)$$

Підставляючи значення, отримаємо нескінчену систему рівнянь для визначення невідомих коефіцієнтів

$$\begin{cases} n_1 + 2n_2\Delta t + 3n_3\Delta t^2 \dots = -k_n(u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots)(n_0 + n_1 \cdot \Delta t + n_2 \cdot \Delta t^2 + \dots) \\ \quad + k_n(u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots)v_B \cos \psi + g \sin \varepsilon; \\ \tau_1 + 2\tau_2\Delta t + 3\tau_3\Delta t^2 \dots = -k_n(u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots)(\tau_0 + \tau_1 \cdot \Delta t + \tau_2 \cdot \Delta t^2 + \dots) \\ \quad + k_n(u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots)v_B \sin \psi - g \cos \varepsilon; \\ z_1 + 2z_2\Delta t + 3z_3\Delta t^2 \dots = -k_n(u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots)(z_0 + z_1 \cdot \Delta t + z_2 \cdot \Delta t^2 + \dots) \\ \quad + k_n(u_{01} + u_{02} \cdot \Delta t + u_{03} \cdot \Delta t^2 + \dots)v_B \cos \delta - g \sin \alpha; \end{cases} \quad (2.25)$$

У початковий момент часу $t = 0$ координати точки визначаються по першим рівнянням системи:

$$\begin{aligned} n_1 &= -k_n \cdot u_{01} \cdot n_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \cos \psi + g \cdot \sin \varepsilon; \\ r_1 &= -k_n \cdot u_{01} \cdot r_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \sin \psi - g \cdot \cos \varepsilon; \\ z_1 &= -k_n \cdot u_{01} \cdot z_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \cos \delta - g \cdot \sin \alpha; \end{aligned} \quad (2.26)$$

Обмежуючись лінійної частиною системи, отримаємо рівняння для визначення швидкості частки в міжбиловому просторі в будь-який момент часу:

$$\begin{aligned} N(\Delta t) &= n_0 + (-k_n \cdot u_{01} \cdot n_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \cos \psi + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \Delta t; \\ \{ T(\Delta t) &= r_0 + (-k_n \cdot u_{01} \cdot r_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \sin \psi - g \cdot \cos \varepsilon) \cdot \Delta t; \\ Z(\Delta t) &= z_0 + (-k_n \cdot u_{01} \cdot z_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \cos \delta - g \cdot \sin \alpha) \cdot \Delta t; \end{aligned} \quad (2.27)$$

Щоб отримати вираз для визначення координати частинки за проміжок часу Δt , необхідно застосувати інтегрування:

$$\begin{cases} n(\Delta t) = n_0 \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot x_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \cos \psi + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ \tau(\Delta t) = \tau_0 \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot \tau_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \sin \psi - g \cdot \cos \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ z(\Delta t) = z_0 \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot z_0 + k_n \cdot u_{01} \cdot v_B \cdot \cos \delta - g \cdot \sin \alpha) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \end{cases} \quad (2.28)$$

$$\begin{cases} u(\Delta t) = u_{x0} \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{x0} + k_n \cdot u_{01} \cdot (28,89 + 0,03 \cdot R + \\ + 0,05 \cdot \varepsilon - 0,0009 \cdot R^2 - 0,0003 \cdot \varepsilon^2) + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ y(\Delta t) = u_{y0} \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{y0} + k_n \cdot u_{01} \cdot (29,78 + 0,041 \cdot R + \\ + 0,056 \cdot R^2 - 0,0002 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \cos \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ z(\Delta t) = u_{z0} \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{z0} + k_n \cdot u_{01} \cdot (25,61 + 0,108 \cdot R + 0,052 \cdot \varepsilon + \\ + 0,052 \cdot z - 0,001 \cdot R^2 - 0,0002 \cdot R \cdot \varepsilon - 0,00015 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \sin \alpha_0) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \end{cases} \quad (2.29)$$

Характер взаємодії між зерном і билом, швидкісні характеристики та координати падіння з била визначалися при частоті обертання ротора 3000 хв^{-1} , ширині била 50 мм і куті нахилу била 45° . Як зазначалося вище, зерно відскакує від била, коли $b \geq 0$, і зерно ковзає по билу, коли $b < 0$. Розглянемо граничні умови, що визначаються геометричними параметрами млина: $b = 25 \text{ мм}$, $x = 80 \text{ мм}$, $y = 35 \text{ мм}$, $z = 0 \text{ мм}$ У цьому випадку частинки відскакують від била зі швидкостями $v_x = 0,78 \text{ м / с}$, $v_y = -0,06 \text{ м / с}$, $v_z = -0,06 \text{ м/с}$. Ці значення є початковими умовами для розрахунку траєкторії руху частинок в камері подрібнення.

Порівнюючи розміри периферії сита з координатами руху частинок, можна зробити висновок, що частинка проходить через край сита або периферію сита: якщо x близький до радіуса периферійного сита, то частинка проходить через периферійне сито незалежно від значення b , а якщо $x=0 \text{ мм}$, то через крайнє сито. Межі, при яких частинка потрапляє на стик між периферійним і крайнім ситом, становлять $b = 25 \text{ мм}$ $x = 65 \text{ мм}$ і $b = -1 \text{ мм}$ $-x = 73 \text{ мм}$. Отже, якщо завантажувальне вікно розташоване симетрично відносно отриманого граничного значення x , то кількість частинок, що проходять через периферійне сито, дорівнює кількості частинок, що проходять через торцеве сито. Використовуючи запропонований метод, траєкторії частинок можна

розрахувати траєкторію виходу з помольної камери. Змінюючи кут α нахилу осі ротора, можна досягти рівномірного завантаження торцевих і периферійних решіт, тим самим підвищити продуктивність млина і знизити енерговитрати на подрібнення. Були проведені експериментальні дослідження по визначенню розподілу зерна між периферійними і торцевими решетами. Було встановлено, що при кутовій швидкості ротора 314с^{-1} , ширині заготовки 50 мм , куті нахилу заготовки 45° і ширині завантажувального вікна 80 мм 60% від загальної кількості абразивних зерен проходило через периферійне сито і 40% - через торцеве сито.

Висновки

На основі проведеного теоретичного дослідження та аналізу отриманих результатів можна зробити наступні висновки:

1. Проведено моделювання руху частинок в камері подрібнення роторної молоткової дробарки.

2. Встановлено, що при $b < 0$ спочатку відбувається ковзання зернівки по билу, а руйнування відбувається згодом після удару об решето, а при $b > 0$ частинки вдаряються об стик, а не об решето, що зменшує його спрацювання.

3. Розраховано траєкторії руху частинок у робочій камері та визначено заготовки та їх вихід з робочої камери для заданих параметрів

4. Визначено умови подачі сировини таким чином, щоб через периферійне і торцеве сита проходила однакова кількість подрібненого продукту, тим самим рівномірно завантажуючи сита і збільшуючи пропускну здатність роторно-молоткової дробарки.

3 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Програма експериментальних досліджень молоткової дробарки ударно відбивної дії визначена відповідно до завдань дослідження і включає наступні етапи:

- проведення серії однофакторних експериментів для виявлення раціональної конструкції молоткової дробарки ударно-відбивної дії;
- проведення відсіваючих експериментів для виявлення найбільш значимих чинників;
- вивчення впливу конструкційних чинників і оптимізація робочого процесу молоткової дробарки ударно-відбивної дії;
- випробування вдосконаленої молоткової дробарки ударно-відбивної дії в виробничих умовах.

Перелік популярних програм, які можуть бути корисними в різних інженерних напрямках:

MATLAB : Це потужне середовище для чисельних обчислень та моделювання, корисне в багатьох інженерних дисциплінах, таких як електротехніка, механіка, сигнальна обробка тощо.

SolidWorks : Програма для 3D-моделювання та проектування, особливо популярна в машинобудуванні, промисловому дизайні та інших суміжних галузях.

AutoCAD : Використовується для комп'ютерного проектування (CAD) у будівництві, архітектурі та інженерії.

ANSYS : Це програмне забезпечення для чисельного моделювання в області механіки, теплопередачі, електромагнетизму та інших інженерних дисциплін.

LabVIEW : Використовується для створення програмного забезпечення автоматизації вимірювання та контролю в різних інженерних дисциплінах.

Python з бібліотеками для наукових обчислень (NumPy, SciPy, Pandas) : Python - це потужний інструмент для наукових обчислень, який можна використовувати для аналізу даних, моделювання, статистичних обчислень та багато іншого.

OpenFOAM : Це вільне програмне забезпечення для чисельного розв'язання різних задач у галузі обчислювальної динаміки, включаючи розрахунок течії рідини та газів.

Revit : Додаток для інформаційного моделювання в будівництві та архітектурі, дозволяє виконувати інтегроване проектування будівель.

Matplotlib, Plotly : Це бібліотеки для візуалізації даних у Python, корисні для створення графіків, діаграм та інших візуальних зображень результатів досліджень.

Simulink : Система моделювання графічного середовища, широке використання у вивченні та аналізі динамічних процесів.

Abaqus : Програмне забезпечення для складних обчислювальних задач у галузі кінцевих елементів.

COMSOL Multiphysics : Це інтегроване середовище для моделювання фізичних процесів на базі різних рівнів.

RStudio (R програмування) : Це інструмент для статистичного аналізу даних та створення графіків, який може бути корисним у наукових дослідженнях.

Програми CAD (Computer-Aided Design) : Наприклад, Fusion 360, CATIA, Creo, інші - використовують для проектування та моделювання в різних інженерних галузях.

HYSYS : Це програмне забезпечення для моделювання процесів у хімічній та нафтогазовій промисловості.

Mathematica : Використовується для символічних та чисельних обчислень у різних наукових галузях, включаючи інженерію.

MAXQDA : Для якісного аналізу даних може бути корисним у дослідженнях соціальних аспектів інженерних проектів.

ETABS, SAP2000 : Це програмне забезпечення для проектування та

аналізу будівельних і структурних конструкцій у галузі цивільного машинобудування.

STATA : Для статистичного аналізу даних, особливо корисних у дослідженнях, пов'язаних із соціальною інженерією, економікою та іншими галузями.

ROS (Robot Operating System) : Використовується в дослідженнях робототехніки та процесів автоматизації, є потужним інструментом для створення та тестування робіт.

ANSYS Fluent : Спеціалізована програма для чисельного моделювання течії рідин і газів, використання в різних інженерних галузях.

COMSOL Multiphysics : Це програмне забезпечення дозволяє моделювати та аналізувати різні фізичні процеси в багатьох галузях науки та інженерії.

GAMS (General Algebraic Modeling System) : Це програмне забезпечення для розв'язання оптимізаційних задач, корисне в дослідженнях з оптимізації та моделювання систем.

CST Studio Suite : Для моделювання та аналізу електромагнітних систем і пристроїв.

PTC Creo : Програма для проектування і моделювання у сфері машинобудування та промисловості.

ANSYS Mechanical : Для чисельного моделювання та аналізу механічних систем і конструкцій.

LabWindows/CVI : Інтегроване середовище розробки програмного забезпечення вимірювальної та автоматизованої техніки.

3.2 Прилади та обладнання для дослідження робочого процесу молоткової дробарки ударно-відбивної дії

В процесі проведення експериментальних досліджень були використані різні вимірювальні та реєструючі прилади, перелік яких подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Апаратура та прилади, що застосовуються при експериментальних дослідженнях

Найменування	Марка	Призначення
Ваги платформні	РП-100	Визначення маси матеріалу, що подрібнюється
Ваги лабораторні	ВК-300.01	Визначення маси проб і залишків на ситах
Розсіювач лабораторний	РЛ-1	Розсівання проб
Струмовимірювальні кліщі	Mastech MS2203	Вимірювання потужності
Секундомір	СДСпр.1	Реєстрація часу
Вологомір	Фауна-М	Визначення вологості матеріалу
Диференціальний манометр	Extech HD350	Вимірювання швидкості, витрати, повного тиску, температури
Персональний комп'ютер з пакетом прикладних програм	HP	Накопичення і обробка інформації

Висновки

Порівняння основних технічних характеристик запропонованої конструкції дозволяє зробити висновки про переваги розробки за енергетичними та якісними показниками і виконати оптимізацію робочого процесу молоткової дробарки.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Визначення основних показників процесу подрібнення в дробарці зерна ударно-відбивної дії

Основними показниками процесу подрібнення продукту є продуктивність молоткової дробарки, енергоємність процесу подрібнення і якість готового продукту.

Якість готового продукту визначається на основі проведеного аналізу і характеризується:

- модулем помелу (середньозваженими розміром частинок) подрібненого матеріалу;
- кількістю цілих зерен (залишок зерен на ситі з отворами 3 мм) в подрібненому матеріалі;
- відсотковим вмістом пилоподібної фракції в подрібненому матеріалі.

Продуктивність молоткової дробарки характеризується одиницею маси подрібненого зерна за одиницю часу. Вона може бути визначена на основі одного з підходів:

- замір часу подрібнення встановленої порції зерна;
- зважування порції зерна, подрібненої за встановлений час.

Енергоємність процесу подрібнення визначається відношенням витрат енергії до одиниці маси готового продукту.

На практиці при подрібненні зерна необхідно розділяти енергоємність процесу подрібнення і енергоємність процесу з урахуванням ступеня подрібнення. Ступінь подрібнення характеризує відношення величини результатних частинок до величини частинок після подрібнення.

4.2 Вибір критеріїв оптимізації

При подрібненні зерна в якості основного показника витрат енергії прийнята питома витрата електроенергії на одиницю маси подрібненого зерна.

Однак для об'єктивного порівняння режимів роботи різних дробарок доцільно враховувати і ступінь подрібнення, тому в якості критерію оптимізації взяли показник питомих витрат електроенергії з урахуванням ступеня подрібнення.

Для комплексної оцінки робочого процесу молоткової дробарки необхідно враховувати не тільки показник питомих енерговитрат на одиницю ступеня подрібнення, а сукупність показників, до яких відносяться також продуктивності дробарки і якісні показники процесу подрібнення.

Так, мінімальні питомі енерговитрати можуть бути отримані при неприпустимо низькій продуктивності дробарки, тому продуктивність молоткової дробарки також враховується при проведенні експериментів.

Не слід забувати і про якісні показники. Модуль помелу необхідний для визначення відповідності готового продукту вимогам до кормів різних груп тварин. Зміст в готовому продукті пилоподібної фракції має бути мінімальним, щоб уникнути попадання в дихальні шляхи тварин і втрат при транспортуванні. Залишок на ситі діаметром 3 мм і кількість цілих зерен також досить добре характеризує ефективність подрібнення і повинні відповідати зоотехнічним вимогам до кормів різних груп тварин.

Тому в якості критеріїв оптимізації при проведенні експериментів прийняті:

1. Питомі енерговитрати на одиницю ступеня подрібнення (кВт·год/т.од.ст.под)
2. Продуктивність молоткової дробарки (т/год.).
3. Модуль помелу.
4. Зміст в готовому продукті пилоподібної фракції (частки розміром менше 0,2 мм в% по масі).
5. Залишок на ситі діаметром 3 мм (% по масі).
6. Зміст в готовому продукті цілих зерен (% по масі).

Далі випробування молоткової дробарки ударно-відбивної дії необхідно проводити під навантаженням. Підготовлене до подрібнення зерно зважувалося

вагами РП-100, після чого завантажувалося в завантажувальний бункер. Поворотний затвор, через який попередньо засипане в бункер зерно через завантажувальне вікно потрапляло в камеру подрібнення, відкривали після запуску двигуна дробарки при виході ротора на номінальну частоту обертання. На вивантажувальному кожусі встановлювалася ємність, в яку відводився готовий продукт. Заміри споживаної потужності проводилися при роботі дробарки в установленому режимі. Дослідження проводили відповідно до прийнятих і загальноприйнятими методиками.

Для визначення пропускної здатності дробарки фіксували час з моменту відкриття поворотного затвора до повного подрібнення навішування зерна за формулою:

$$Q = m/t \quad (4.1)$$

де Q - пропускна здатність дробарки, кг/год;

m - маса продукту, подрібненого за час досвіду, кг;

t - час проведення досвіду, ч.

Для визначення модуля помелу і змісту цілих зерен використовувались ваги лабораторні ВК-300.01, а також розсівання лабораторний РЛ-1 з набором штампованих сит, діаметр отворів яких становив 0,2 ... 5 мм.

Наважку готового продукту масою 100 грамів просівали через набір сит, які встановлювали на розсіві в порядку зменшення розмірів отворів зверху вниз. Протягом 5 хвилин проводили просіювання матеріалу на розсіві РЛ-1. Після просіювання зважували залишок на кожному з сит незалежно за допомогою ваг. Потім визначали середньозважений розмір частинок (модуль помелу).

Середнє арифметичне результатів трьох паралельних вимірювань приймали за остаточний результат випробування. Допустима норма втрат при цьому менше 1%.

На розбірній дошці підраховували кількість цілих зерен кожної фракції, виділеної з навішування. Їх зважували окремо і висловлювали в відсотках.

Зерна з непошкодженими насіннєвими і плодовими оболонками відносяться до цілих. Роздавлені і обвалені в результаті механічної дії зерна не відносяться до цілих. Зміст пилоподібної фракції (частки розміром менше 0,2 мм) також фіксували окремо.

Отримані результати зводили в таблиці, після чого обробляли програмними засобами.

4.3 Методика проведення багатofакторного експерименту

При проведенні експериментальних досліджень з метою отримання математичних моделей, а також скорочення кількості дослідів, засобів і часу використовувалася методика планування експерименту.

Змінні фактори вибирали на основі проведених багаточисленних робіт, присвячених дослідженням робочого процесу роторних дробарок. При складанні плану експерименту призначаються рівні варіювання. Для зменшення обсягу експериментальної роботи і часу обробки інформації зазвичай фактори варіюють на двох-трьох рівнях.

Постановка повного факторного експерименту включає в себе вибір математичної моделі, побудова плану, розрахунок коефіцієнтів регресії, оцінку значущості коефіцієнтів регресії, аналіз рівняння регресії.

Розрахунок оцінок коефіцієнтів регресії математичних моделей, оцінка їх значимості і перевірка адекватності, побудова та накладення перетинів поверхонь відгуків проводили за допомогою ПО Statgraphics Centurion на персональному комп'ютері.

Оптимізацію проводили методом вирішення компромісної задачі з вибором визначає і супутнього критеріїв. Методом накладання двомірних перетинів отримані раціональні параметри змінюваних факторів, що забезпечують оптимальні значення критеріїв оптимізації.

4.4 Результати досліджень молоткової дробарки

На підставі поставлених завдань метою експериментальних досліджень було: підтвердження результатів теоретичних досліджень; дослідження впливу основних конструкційних параметрів молоткової дробарки ударно-відбивної дії на показники робочого процесу; оптимізації конструкційних і технологічних параметрів молоткової дробарки ударно-відбивної дії.

Для проведення експериментальних досліджень використовували розроблену експериментальну установку. Її конструкція відрізняється від найбільш поширених молоткових дробарок. В якості робочих органів використовувалися не шарнірно підвішені молотки і дека, а жорстко встановлені на роторі біла і торцеві поверхні бічних стінок-плит (рис. 4.1).

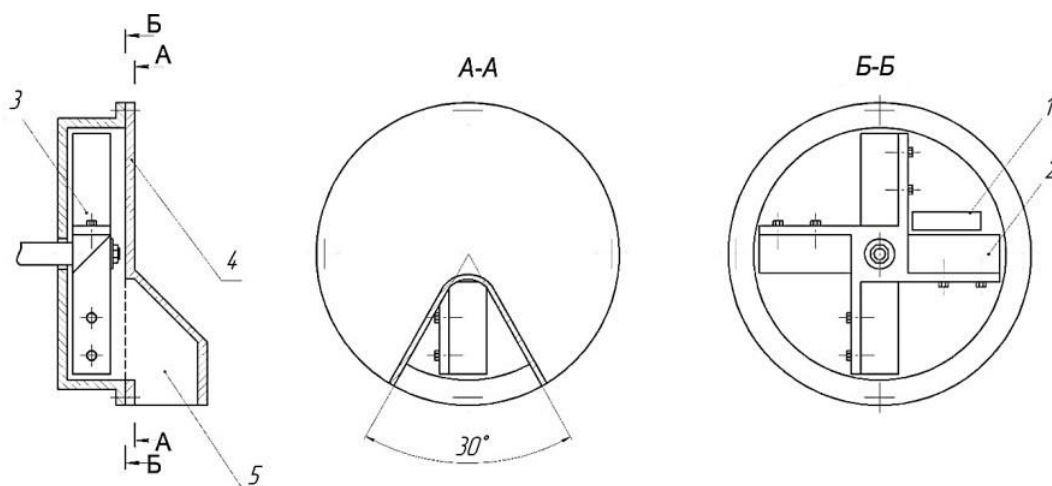


Рисунок 4.1 - Схема молоткової дробарки ударно-відбивної дії:

1 - завантажувальне вікно; 2 - біла; 3 - ротор; 4 - торцева плита;

5 - вивантажувальне вікно

Молоткова дробарка ударно-відбивної дії працює таким чином: зерно з бункера через завантажувальне вікно самопливом надходить в камеру подрібнення, де потрапляє під удари бил, жорстко закріплених на роторі і розташованих під кутом до своїх осей. Далі частинки направляються до протилежної сторони і, подрібненні, відводяться через вивантажувальне вікно.

В експериментальній установці передбачено варіювання досліджуваними факторами. До них відноситься кут удару бил, жорстко закріплених на роторі (рис. 4.1); частота обертання ротора; величина подачі зерна в робочу камеру; решета з отворами різного діаметру; різні варіанти відведення готового продукту з камери подрібнення.

Різні комбінації наведених факторів дозволяють експериментальним шляхом визначити оптимальні конструкційні і технологічні параметри роботи дробарки.

4.5. Результати оптимізації молоткової дробарки ударно-відбивної дії

За результатами теоретичних досліджень визначені математичні рівняння, що описують характер взаємодії частинки з билем в залежності від кутової швидкості ротора, кутового коефіцієнта, коефіцієнта тертя і часу.

При відносній швидкості зернівки, що дорівнює 0 м/с, і негативному значенні b зернівка ковзає по билу. Якщо зернівка знаходиться в зоні, яка характеризується позитивним значенням параметра b , то вона відскакує від била, а її ковзання по билу можливе за умови початкової швидкості, відмінній від 0. Розрахунки підтверджуються результатами дослідів. Після подрібнення зерна на них можна побачити, що в зоні, яка характеризується позитивним значенням величини b , фарба стерлася, а в зоні з від'ємним значенням b видно удари зернівок. Тобто представлені теоретичні залежності досить точно описують характер руху зернівки в камері подрібнення дробарки.

Представлені теоретичні закономірності дозволяють спрогнозувати рух зернівки і запропонувати оптимальні значення параметрів дробарки.

Проведені теоретичні дослідження дозволили визначити область дослідження, а за результатами однофакторних експериментів встановлено межі варіювання факторів, використаних в подальшому при реалізації багатфакторних експериментів.

В результаті проведеного оптимізаційного експерименту виявлено оптимальні значення досліджуваних параметрів дробарки зерна ударно-відбивної дії:

- кут бил $\alpha = 50 \dots 55^\circ$;
- охоплення периферійного решета $w = 48$ мм;
- діаметр отворів торцевого і периферійного решіт при подрібненні зерна на корм птиці - 5 мм, великій рогатій худобі - 3 ... 4 мм, свиням - 3 мм.

Таким чином в результаті проведених досліджень молоткової дробарки ударно-відбивної дії отримані раціональні значення конструкційних і режимних параметрів:

- подача матеріалу, що подрібнюється проводиться через верхнє вікно;
- частота обертання бив 3000 об/хв.;
- кут атаки бив $50 \dots 55^\circ$;
- кут охоплення торцевої стінки сепаруючої поверхнею 235° ;
- охоплення периферійного решета заслінкою 48 мм;
- діаметр отворів периферійного і торцевого решіт 5 мм, 3 ... 4 мм, 4 мм при подрібненні зерна на корм птиці, ВРХ, свиней відповідно.

Висновки

1. Розроблено нову конструкцію молоткової дробарки ударно-відбивної дії, що містить камеру подрібнення з завантажувальним і вивантажним вікнами, яка виконана у вигляді корпусу з циліндричного горизонтально розташованого барабана і двох стінок, лопаті ротора розташовані під кутом щодо своєї осі з орієнтацією їх поверхонь у напрямку обертання ротора, при цьому довжина циліндричного барабана кратна ширині лопатей.

2. Отримано математичні залежності для опису відносного руху зернівки по билу ротора молоткової дробарки ударно-відбивної дії при заданих значеннях кутової швидкості, кутовому коефіцієнті площині, коефіцієнті тертя і часу, а

також для розрахунку траєкторії руху частки і визначення її місця виходу з камери подрібнення.

3. Шляхом планування багатофакторного експерименту отримані моделі регресії, що характеризують зміни показників робочого процесу, на підставі яких визначено раціональні значення конструкційних і технологічних параметрів: подача матеріалу, що подрібнюється проводиться через верхнє вікно, частота обертання ротора 3000 хв-1, кут атаки бил 50 ... 55°, кут охоплення торцевої стінки сепаруючою поверхнею 235°, охоплення периферійного решета заслінкою 48 мм, діаметр отворів периферійного і торцевого решіт відповідно 5 мм і 3 ... 4 мм.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

При роботі з молотковою дробаркою необхідно дотримуватися строгих правил охорони праці для забезпечення безпеки працівника. Ось основні вимоги з охорони праці при роботі з молотковою дробаркою:

Одяг і особистий захист: - носіть захисний одяг, включаючи захисні окуляри або маску, вушні протектори, рукавиці та відповідне взуття.

Інструкції та навчання: - перед використанням молоткової дробарки ознайомтеся з інструкціями виробника та отримайте необхідне навчання з техніки безпеки.

Перевірка апарату: - ретельно перевірте молоткову дробарку на наявність видимих дефектів та переконайтеся, що всі системи працюють належним чином перед початком роботи.

Безпечний монтаж та налаштування: - встановіть та налаштуйте молоткову дробарку відповідно до інструкцій виробника та врахуйте правильність заточки та розташування інструментів.

Робоче середовище: - перед роботою переконайтеся, що робоче середовище чисте, без заважаючих предметів, і забезпечуйте належне освітлення та вентиляцію.

Робоча позиція: - стійте або сидіть у стійкій робочій позиції, щоб уникнути втрати рівноваги та травми.

Використання відповідних заходів безпеки при видаленні обрізаних частин: - використовуйте спеціальні інструменти або рукавички при видаленні обрізаних частин інструменту для запобігання пораненню.

Постійна увага та концентрація: - під час роботи з молотковою дробаркою завжди будьте уважними та сконцентрованими, уникайте відволікань.

Завжди вимикайте молоткову дробарку перед внесенням змін: - перед заміною або регулюванням інструментів завжди вимикайте та відключайте молоткову дробарку від живлення.

Регулярне технічне обслуговування: - проведіть регулярне обслуговування молоткової дробарки відповідно до рекомендацій виробника для збереження її ефективності та безпеки.

Збереження відстані до інших працівників: - завжди дотримуйтеся відстань до інших працівників та переконайтеся, що немає жодного поблизу, під час роботи з молотковою дробаркою.

План дій при аваріях: - розробіть план дій для цієї реакції у разі аварії чи травми та повідомте іншим про нього.

Запит на допомогу: - завжди маєте можливість швидко запитати допомогу, інформувати інших про своє місце розташування та стан безпеки.

План екстрених виходів: - знайдіть місце розташування першої допомоги, екстрених виходів та виходів з робочої зони.

Відпочинок та гідне харчування: - відведіть час для перерви на відпочинок і обід, щоб підтримувати належний фізичний стан та концентрацію.

Збереження та адекватна температура: - зберігайте молоткову дробарку в сухому місці та за адекватних температурних умов для запобігання ураженням.

Дотримуйтеся інструкцій виробника, включаючи правила експлуатації, обслуговування та безпеки техніки. Ці вимоги та рекомендації повністю забезпечити безпеку при роботі з молотковою дробаркою. Завжди пам'ятайте про важливість безпеки та дотримання всіх вимог та інструкцій.

Уникання попереднього завантаження: - не завантажуйте молоткову дробарку занадто багато матеріалів щоб уникнути перевантаження та підвищення ризику аварії. Під час роботи з молотковою дробаркою носять захисні окуляри або маску для захисту очей від обрізаних частинок і пилу. Завжди знайте, де знайдіть ваші колеги, і уникайте роботи в непрямому полі зору інших працівників. Використовуйте засоби захисту від шуму, такі як навушники або вушні протектори, після молоткової дробарки можна виділити значний рівень шуму. Перед початком роботи розробіть план дій для негайної реакції в разі аварії чи травми. Перед роботою повністю плануйте процес, визначте можливості ризику та прийміть відповідні заходи для їх запобігання.

Дотримуйтеся місцевих норм і правил щодо обробки та видалення обрізаних частин та інших відходів. Регулярно оновлюйте свої знання щодо безпеки та підвищуйте кваліфікацію, особливо щодо нових методів та технологій. Беріть участь в оновленні інструкцій з безпеки та нарадах із колегами для обміну досвідом та вирішення питань щодо безпеки.

Ці додаткові вимоги та рекомендації спрямовані на забезпечення максимальної безпеки при роботі з молотковою дробаркою. Безпека завжди є на першому місці, і дотримання цих правил допоможе уникнути травм та аварій при роботі з цим обладнанням.

Зберігайте молоткову дробарку в безпечному місці, де вона не може бути доступною для неповнолітніх або некомпетентних осіб. Ретельно доглядайте за обладнанням, усуваючи будь-які дефекти чи пошкодження до роботи. Використовуйте молоткову дробарку лише тоді, якщо у вас є відповідні навички та досвід, і не допускайте роботу осіб без відповідної підготовки.

Особиста відповідальність: - пам'ятайте, що безпека при роботі з молотковою дробаркою в першу чергу залежить від вас. Дотримуйтеся всіх правил та інструкцій, і не ризикуйте своєю безпекою. Заборонено використовувати молоткову дробарку в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння, після чого це може призвести до небезпечних ситуацій та аварій.

Контроль за робочим часом: - регулюйте робочий час так, щоб уникнути втоми та зниження уваги, особливо при звичайному використанні молоткової дробарки.

Перевірка під час роботи: - під час роботи перевіряйте стан молоткової дробарки, щоб частіше виявляти будь-які аномалії чи проблеми.

Уникання неправильного використання: - користуйтеся молотковою дробаркою відповідно до її призначення, і не використовуйте її для інших завдань, які можуть призвести до небезпеки.

Звітність про нещасні випадки: - якщо сталася аварія або нещасний випадок, негайно повідомте про це відповідні служби та керівництво.

Користуйтеся засобами комунікації та взаємодійте з іншими працівниками, уникайте конфліктів та недорозумінь, які можуть призвести до небезпеки.

Ці додаткові вимоги та рекомендації повністю підвищити рівень безпеки при роботі з молотковою дробаркою. Завжди пам'ятайте про важливість безпеки та дотримання всіх цих правил та рекомендацій.

Дотримання правил роботи в команді: При роботі в команді із молотковою дробаркою слідкуйте за безпекою інших працівників, уникайте ризику травм чи аварій.

Перед використанням молоткової дробарки на новому матеріалі чи ділянці, зробіть перевірку для виявлення важких об'єктів, які можуть подарувати обладнання або створити небезпеку.

Прибирання робочого місця: - після завершення роботи завжди прибирайте робоче місце, видаляючи обрізані частини та інше сміття, щоб уникнути остаточних небезпек. Регулярно слідкуйте за своїм фізичним і психічним здоров'ям, і у разі нездужання або втоми припиняйте роботу та відпочивайте.

Вивчайте та розвивайте внутрішні навички, такі як контроль над стресом, рішучість та зосередженість, щоб забезпечити безпеку під час роботи.

Постійно вдосконалюйте свої знання та практикуйте в галузі охорони праці та безпеки при роботі з молотковою дробаркою.

Ці додаткові вимоги та рекомендації спрямовані на максимізацію безпеки при роботі з молотковою дробаркою. Незалежно від ваших навичок та досвіду завжди дотримуйтеся цих правил та рекомендацій для запобігання травм та аварій.

Користування захисною сіткою або бар'єрними пристроями: - деякі молоткові дробарки можуть бути забезпечені захисними сітками або бар'єрними пристроями для запобігання контакту з обрізаними частинами інструменту. Використовуйте їх, якщо вони доступні.

Переконайтеся, що молоткова дробарка зупинилася повністю перед тим, як ви знімаєте руки від інструменту. Ретельно слідкуйте за станом інструменту

і вчасно проводите регулярне технічне обслуговування та заміну зношених деталей. Будьте в курсі нових розробок у сфері безпеки обладнання та методів роботи з молотковою дробаркою і впроваджуйте їх, якщо це досягне рівень безпеки. Якщо виникли сумніви або питання щодо безпеки при роботі з молотковою дробаркою, завжди запитуйте про пораду виробника, інструктора з безпеки або кваліфікованого фахівця.

Навчіться надавати першу допомогу при можливих травмах, які можуть виникнути при роботі з молотковою дробаркою. Це може бути життєво необхідно у випадку аварії.

Висновки

Розробіть план дій та процедури для рятувальних заходів у випадку аварії. Важливо знати, як швидко та ефективно діяти в надзвичайних ситуаціях. Повідомляйте про будь-які недоліки чи проблеми з молотковою дробаркою відомості виробника або служби технічної підтримки для їх вирішення. Долучайтесь до ініціатив та практик, спрямованих на покращення безпеки на робочому місці та долучайтесь до власних ідей для їх впровадження. Регулярно запитуйте про огляд та аудит безпеки на робочому місці, щоб виявити недоліки та покращити умови праці. Спостерігайте та вивчайте з досвідчених колег, які мають навички безпеки та техніку роботи з молотковою дробаркою. Переконайтеся, що всі працівники, які використовують молоткову дробарку, пройшли необхідне навчання з техніки безпеки.

Ці вимоги з охорони праці при роботі з молотковою дробаркою повністю мінімізують ризик травм і нещасних випадків. Дотримуйтеся цих правил безпеки та дотримуйтеся рекомендацій виробника, щоб забезпечити безпеку під час роботи з цим обладнанням.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічна ефективність молоткової дробарки може бути розрахована кількома способами. Одним з найпоширеніших методів є розрахунок витрат та отримання прибутку від використання обладнання.

Основні кроки для розрахунку економічної ефективності:

Визначення витрат: Розрахунок всіх витрат, що пов'язані з молотковою дробаркою, такі як вартість самої дробарки, витрати на її обслуговування, електроенергія, зарплата працівників, поточний ремонт тощо.

Визначення прибутку: Оцінка прибутку, який можна отримати від використання цієї дробарки. Це може бути вартість продукції, яку вона виробляє, або економія коштів у порівнянні з іншими методами обробки матеріалу.

Розрахунок віддачі: Порівняння витрати з прибутком або економією, щоб з'ясувати, чи буде дробарка економічно ефективною. Використовуйте такі показники, як чистий приведений дохід (NPV), внутрішня норма прибутку (IRR) або окупність інвестицій (ROI).

Час окупності: Розрахунок, за скільки часу витрати на молоткову дробарку будуть компенсовані прибутком від її використання. Це допоможе визначити, наскільки швидко інвестиція повернеться.

Це лише кілька аспектів, які варто врахувати при оцінці економічної ефективності молоткової дробарки. Комбінація всіх цих факторів допоможе зробити більш об'єктивну оцінку та прийняти більш обґрунтоване рішення стосовно використання такого обладнання в певному контексті.

Для визначення економічної ефективності розробки визначаємо галузеву собівартість, а результати розрахунків розміщуємо в таблиці 6.1.

Вихідні дані до розрахунку:

P – чиста вага знаряддя, кг;

Π – коефіцієнт конструктивної складності в порівнянні із серійним знаряддям, $\Pi = 2$;

- Н – витрати на виробництво 1 кг чистої маси продукції, грн/кг;
 K_m – коефіцієнт зміни витрат на виробництво, $K_m = 2$;
М – вартість 1 кг чистого матеріалу, що входить у знаряддя, грн/кг;
Д – вартість витрат, зв'язаних із транспортними витратами, грн.

Таблиця 6.1 – Результати розрахунків галузевої собівартості агрегату

№п/п	ФОРМУЛА
1.	Галузева собівартість $C_o = P(P \cdot H \cdot K_m + M) + D,$
2.	Нижня межа ціни $C_{ин} = C_o + П_n,$
3.	Нормативний прибуток $П_n = \frac{P_c \cdot C_o}{100},$
4.	Лімітна галузева ціна $C_{л} = C_{ин} \cdot B,$

Розрахунок вартісних витрат:

- заробітна платня механізатора:

$$Z_n = \frac{f_m}{W_u}. \quad (6.2)$$

- відрахування на ремонт і амортизацію обладнання

$$S_{om} = \frac{1,1B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_u}. \quad (6.3)$$

- відрахування на ремонт і амортизацію

$$S_{om} = \frac{1,1B_m \cdot (Q_{pm} + Q_{pm})}{100 \cdot T_{zm} \cdot W_u}. \quad (6.4)$$

- вартість електроенергії:

$$G_m = C_m \cdot g_m. \quad (6.5)$$

- разом витрати:

$$I = Z_n + S_{om} + S_{om} + G_m. \quad (6.6)$$

- питомі капітальні витрати:

$$S_y = \frac{1,1B_m}{W_q \cdot T_{zm}} + \frac{1,1B_m}{W_q \cdot T_{zm}} \quad (6.7)$$

Строк окупності визначаємо по формулі:

$$T_K = \frac{Ц_{Г}}{E_p}, \quad (6.8)$$

$$T_K = 0,6 \text{ року}$$

Висновки

Розрахунки економічної ефективності впровадження модернізованих дробарок підтверджують їх доцільність, оскільки термін окупності капітальних інвестицій становить близько року, що знаходиться в межах рекомендованого значення. При виробництві малих зерноподрібнювачів продуктивністю близько 150 кг/год реалізація рекомендацій з підвищення ефективності малих подрібнювачів зернового матеріалу та значно знизить металоємність.

Так річний економічний ефект від упровадження з врахуванням додаткового чистого доходу за рахунок збільшення якості продукції і зменшення витрат електроенергії склав 17800 грн., а окупиться розробка за 0,9 року. Виходячи з цих даних можна зробити висновок, що експлуатація економічно доцільна.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Розроблено нову конструкцію молоткової дробарки ударно-відбивної дії, що містить камеру подрібнення з завантажувальним і вивантажним вікнами, яка виконана у вигляді корпусу з циліндричного горизонтально розташованого барабана і двох стінок, лопаті ротора розташовані під кутом щодо своєї осі з орієнтацією їх поверхонь у напрямку обертання ротора, при цьому довжина циліндричного барабана кратна ширині лопатей.

2. Отримано математичні залежності для опису відносного руху зернівки по билу ротора молоткової дробарки ударно-відбивної дії при заданих значеннях кутової швидкості, кутовому коефіцієнті площині, коефіцієнті тертя і часу, а також для розрахунку траєкторії руху частки і визначення її місця виходу з камери подрібнення.

3. Шляхом планування багатофакторного експерименту отримані моделі регресії, що характеризують зміни показників робочого процесу, на підставі яких визначено раціональні значення конструкційних і технологічних параметрів: подача матеріалу, що подрібнюється проводиться через верхнє вікно, частота обертання ротора 3000 хв⁻¹, кут атаки бил 50 ... 55°, кут охоплення торцевої стінки сепаруючою поверхнею 235°, охоплення периферійного решета заслінкою 48 мм, діаметр отворів периферійного і торцевого решіт відповідно 5мм і 3 ... 4 мм.

4. Вимоги з охорони праці при роботі з молотковою дробаркою повністю мінімізують ризик травм і нещасних випадків. Дотримуйтеся цих правил безпеки та дотримуйтеся рекомендацій виробника, щоб забезпечити безпеку під час роботи з цим обладнанням.

5. Розрахунки підтверджують доцільність, застосування оскільки термін окупності капітальних інвестицій становить від 0,9 до 1,4 року, що знаходиться в межах рекомендованого значення. При виробництві малих зерноподрібнювачів продуктивністю близько 150 кг/год реалізація

рекомендацій з підвищення ефективності малих подрібнювачів зернового матеріалу та значно знизить металоємність.

Так річний економічний ефект від упровадження з врахуванням додаткового чистого доходу за рахунок збільшення якості продукції і зменшення витрат електроенергії склав 17800 грн., а окупиться розробка за 0,9 року. Виходячи з цих даних можна зробити висновок, що експлуатація економічно доцільна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Калетнік Г.М. Енергоощадні технології кормів – основа конкурентоздатності тваринництва: Монографія / Г.М. Калетнік, М.Ф. Кулик, Я.Т. Глушко та інші – Вінниця: Теза. 2006. – 340 с.
2. Калетнік Г.М. Статичні умови сипкого середовища / Г.М. Калетнік, О.В. Цуркан // Вібрації в техніці та технологіях. – 2019. – № 4(95). – С. 5-15.
3. Янович В.П. Обґрунтування режимних та конструктивних параметрів гіраційного млина для виробництва високоактивних преміксів / В.П. Янович, Г.М. Калетнік // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №1 (84) 2017. – С.15 – 21.
4. Алієв Е.Б. Фізико-математичний апарат руху насіння в повітряному потоці [Текст] / Е.Б. Алієв, В.М. Яропуд // Всеукраїнський науково – технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» / Редколегія: Калетнік Г.М. (головний редактор) та ін. – Вінниця, 2017. – №2 (97) – С. 19-23.
5. Булгаков В.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. / Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». ВНАУ. 2014 р. – Вип. 1 (73)
6. Котов Б.І., Спирін А.В., Солоня О.В., Калініченко Р.А. «Стан і перспективи теплової і механічної переробки зернової сировини на корм» С.139-142.
7. Солоня О.В. «Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем» Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях», Вінниця – 2018. №3 (90) – С. 105-116
8. Котов Б.І., Спирін А.В., Калініченко Р.А. Обґрунтування параметрів поєднаних процесів мікронізації і подрібнення із застосуванням

вібраційних технологій при переробці зерна на корм // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2016. – №3(83) – с. 213-217.

9. Створення фото аналітичного методу експрес-оцінки вихідної однорідності сипких матеріалів. / Янович В.П., Купчук І.М., Полевода Ю.А., Михайловська М.А.// Збірник наукових праць ВНАУ. Серія Технічні науки. Випуск 1(84).- м. Вінниця, 2014р.- С.182-187.

10. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. / Д. Г. Войтюк, С. С. Яцун, М. Я. Довжик; за ред. Д. Г. Войтюка. – Суми : Унів. кн., 2008. – 543 с.

11. Гвоздєв О.В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна / О.В. Гвоздєв, Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 11. – С. 143-150.

12. Гевко Р. Б. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів / Р.Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, І. І. Павх; М-во освіти і науки України, Терноп. акад. нар. госп-ва. – Тернопіль, 2002. – 251 с.

13. Грицун А.В. Теоретичне обґрунтування технологічно – конструктивних параметрів подрібнювача пресованих стеблових матеріалів / Грицун А.В., Грицун О.А., Яропуд В.М. // Зб. науку праць ВНАУ Серія: Технічні науки № 1 (84) 2014 р. С. 85-92

14. Гунько І.В., Кравець С.М., Служанюк М.О. Гідравлічні приводи в системах подрібнення деревини / Техніка, енергетика, транспорт АПК, 2018 №3, С.70-76.

15. Друкований М.Ф. Розробка вібраційного дезінтегратора для виробництва біологічно активних добавок органічних добрив / М.Ф. Друкований, В.П. Янович, Л.В. Сосновська // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» №1 (96) 2017. – С.56-59

16. Друкований М.Ф., Янович В.П., Дишкант Л.В., Ольшевський А.І. Дослідження математичної моделі вібраційного млина для подрібнення

мінералів / Друкований М.Ф., Янович В.П., Дишкант Л.В., Ольшевський А.І.
// ВНТЖ Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – №1(81). – С. 136 – 145

17. Ковбаса В. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ : навч. посібник / В. П. Ковбаса, В. М. Швайко, О. П. Гуцол [за ред. проф. Ковбаси В. П.] – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. – 536 с.

18. Котов Б.І., Степаненко С.П. «Підвищення ефективності сепарації насіння з використанням протитечійної подачі матеріалу в горизонтальний повітряний потік» // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – №3(95), С.121-125.

19. Кудінов Є.С. Аналіз способів подрібнення зернових кормів стосовно їх енергоємності / Є.С. Кудінов, І.Г. Бойко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Технічні науки. – 2010. – № 95. – С. 5.

20. Купчук І.М. Дослідження процесу подрібнення зерна дисковим ударним елементом / І.М. Купчук // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – 2018. – № 11. – С. 41-48

21. Купчук І.М. Обґрунтування режимних параметрів процесу подрібнення зернової крохмалевмісної сировини спиртової промисловості / Наукові праці ОНАХТ. Серія: Технічні науки – 2014. – № 46. – С. 231-235

22. Купчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК / І.М. Купчук // Вібрації в техніці та технологіях. – 2018. – С.№3 (90). – С. 44-52

23. Купчук І.М. Розробка програмного алгоритму розрахунку кінематичних параметрів робочих органів віяльно-калібрувальної машини / І.М.Купчук, Ю.Ю. Браніцький // Вібрації в техніці та технологіях. – 2018. – № 2 (89).
– С. 80-87

24. Линник Ю.О. Результати чисельного моделювання робочого процесу ротаційного пластинчастого вакуумного насоса доїльної установки /

Линник Ю.О., Павленко С.І., Алієв Е.Б., Грицун А.В. // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки, вип. 2(85). – Вінниця, 2014. – С. 74-80

25. Любин М.В. Закономерности истечения сыпучего материала через бункерные скребки трубчатых конвейеров на вертикальных участках трассы. / М.В. Любин, А.А. Токарчук // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія Технічні науки. Випуск 2(85).- м. Вінниця, 2014р.- С. 164-169

26. Нанка О.В. Напрямки підвищення ефективності процесу подрібнення зернових кормів / О.В. Нанка // Конструювання, виробництво, експлуатація сільськогосподарських машин. – 2015. – Вип.45, ч.ІІ. – С. 152-157.

27. Нанка О.В. Шляхи зниження енергоємності подрібнення зернових кормів та підвищення якості подрібнення [Текст] / О.В. Нанка, І.Г. Бойко // Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. Збірник наукових праць БНАУ. – Біла Церква: БНАУ, 2012. – Вип. 7. – С. 55-58.

28. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів: Навчальний посібник / За 64єд.. В.С. Павленка. – К.: «Хай-Тек Прес», 2012. – 128 с.

29. Паламарчук И.П. Перспективы использования комбинированного вибромеханического действия в процессах перерабатывающих и пищевых производств / И.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, А.Ю. Гурич // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2016. – С.100-108

30. Паламарчук І.П. Дослідження реологічних характеристик зернової крохмалевмісної сировини спиртового виробництва / І.П. Паламарчук, В.П.Янович, І.М. Купчук // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – №3(95)

31. Паламарчук І.П. Дослідження фізико-механічних властивостей зернової крохмаловмісної сировини як об'єкта технологічної дії спиртового виробництва / І.П. Паламарчук, В.П. Янович, І.М. Купчук // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – №3(95).
32. Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.Н. Анализ математической модели виброторной дробилки. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture –2015. Vol.17. No.4. 139-144
33. Петрова Ж.О. Дослідження процесу подрібнення та класифікація функціональної пре біотичної сировини / Ж.О.Петрова, В.М. Пазюк, О.В. Перепеличний // Збірник праць XVI Міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв»м. Одеса 5-9 вересня С.381-393
34. Янович В. Обґрунтування технології та обладнання для переробки волоських горіхів / Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки – 2015. – № 1(89).Т.1 – С. 136-139
35. Полевода Ю. Розробка методики масштабного переходу фізична модель – натуральний зразок при проектуванні виброторної дробарки спиртової промисловості / Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки – 2015. – № 1(89). Т.2 – С. 164-167
36. Грищун А.В. Дослідження впливу кута встановлення робочої грані молотка на зусилля руйнування стеблових матеріалів А.В. Грищун, І.А. Бабин, О.А. Грищун // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» Вінниця ВНАУ, 2015 №1 (91) 123 с. С. 29-32
37. Янович В.П. Техніко-економічна оцінка вібраційних машин для механічної обробки сипкої сировини/ В.П. Янович // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». – 2017. – № 4 (99). – С.70 – 77.

ДОДАТКИ