

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

Обґрунтування конструктивних параметрів

молоткового подрібнювача зерна

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Пранцуз Сергій Вікторович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Пранцузу Сергію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивних параметрів молоткового подрібнювача зерна

керівник роботи: Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 12 » листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікормів, зокрема подрібнювачів зерна. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання і завдання дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування основних параметрів молоткової дробарки. 3. Експериментальні дослідження розробленого подрібнювача. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка розробленого подрібнювача. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (1 аркуш, А4). 3. Експериментальні дослідження (3 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
5	Економічний	до 26.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент

_____ (підпис)

Пранцуз С.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Івлєв В.В.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Пранцуз С.В. Обґрунтування конструктивних параметрів молоткового подрібнювача зерна/Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Дипломна робота містить вступ, 5 розділів, в яких проведено удосконалення молоткової дробарки. Обґрунтована конструкція дослідного зразка малогабаритного подрібнювача з монолітними молотками. Надані рекомендаційні заходи по покращенню умов охорони праці та техніки безпеки при роботі на кормодробарці. Виконано економічне обґрунтування роботи. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: подрібнення, корм, молоток, молоткова дробарка, продуктивність, енергія.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Загальні поняття подрібнення зернопродуктів у приготуванні кормів для великої рогатої худоби	9
1.2 Класифікація робочих органів для подрібнення кускових матеріалів і зернопродуктів	10
1.3 Аналіз впливу конструктивно-режимних параметрів подрібнювача концентрованих кормів	18
1.4 Сучасне уявлення про параметри процесу подрібнення продукту в молоткових дробарках	19
1.5 Висновки	24
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ	26
2.1 Теоретичний опис руху кормової суміші в робочій камері	26
2.2 Визначення радіальної і колової швидкості частинок при взаємодії з робочим органом – ножем	31
2.3 Висновки	36
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА	37
3.1 Загальна методика експериментальних досліджень	37
3.2 Обладнання та матеріали, використані в досліджах	39
3.3 Методика проведення лабораторних дослідів	41
3.4 Планування експерименту	46
3.5 Результати експериментальних досліджень	47
3.5 Висновки	49

4	ОХОРОНА ПРАЦІ	51
4.1	Загальні вимоги з охорони праці при подрібненні кормів	51
4.2	Проект інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачем концентрованих кормів	52
4.3	Порядок дій під час артобстрілу	54
4.4	Висновки	55
5	ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА	56
5.1	Вихідні дані	56
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	57
5.3	Висновки по розділу	58
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	59
	БІБЛІОГРАФІЯ	60
	ДОДАТКИ	65

ВСТУП

Застосування кормових сумішей для підвищення продуктивності в тваринництві, як мінімум на 25...30% ефективніше, ніж вигодовування звичайного фуражу.

Для досягнення засвоюваності корму важливу роль відіграє процес подрібнення всіх інгредієнтів що входять в кормову суміш. В промисловості випускається безліч різних модифікацій подрібнювачів зерна, однак вони досить громіздкі і енергоємні. Найбільш раціональним способом подрібнення є розколення, злам, стирання, так як мають менші витрати електроенергії і високу технологічну ефективність.

Тому розроблені і обґрунтовані конструктивно-режимні параметри робочих органів кормодробарки з метою зниження енерговитрат на процес подрібнення, це є на сьогоднішній день досить актуальним.

Мета дослідження - обґрунтувати вплив конструктивно-режимних параметрів робочих органів (ножів) кормодробарки на енергоємність процесу подрібнення зернових мас.

Завдання дослідження:

1. Розробити математичну модель енергозберігаючого процесу дроблення сипучих кормів із застосуванням робочих органів (ножів) у вигляді візієри.

2. Обґрунтувати оптимальний кут заточування робочих органів (ножів).

3. Обґрунтувати конструкцію подрібнювача зерна, що працює за сукупним принципом удару та різання з ковзанням, що забезпечує зниження енерговитрат.

4. Визначити закономірність енергоємності процесу подрібнення від геометричних параметрів робочих органів (ножів).

5. Дати техніко-економічну оцінку кормодробарки з пропонованими робочими органами (ножами) на процес подрібнення.

Об'єкт дослідження - Технологічний процес подрібнення зерна робочими органами (ножами), виконаних у вигляді візієри.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні поняття подрібнення зернопродуктів у приготуванні кормів для великої рогатої худоби

Необхідність інтенсифікації всіх галузей тваринництва, без яких неможливий перехід на ринкові умови господарювання, значно збільшила роль комбікормової промисловості. Повноцінні комбікорми знижують витрату фуражу майже на третину. Для приготування кормової маси використовують великий асортимент зернових компонентів, в число яких входять ячмінь, кукурудза, жито, овес, пшениця та ін.

Подрібнення значною мірою впливає на ефективність використання кормів. Так, наприклад, добовий приріст свиней при годуванні їх дрібною кормовою сумішшю виявляється на 15...19% вище в порівнянні з приростом, одержуваним при годуванні неподрібненою сумішшю. Рівномірно подрібненні корми краще змішуються, крім того, подрібнення зерно-продуктів до потрібних фракцій разом з іншими способами їх обробки значно розширює можливості використання кормів, розширюючи тим самим кормову базу тваринництва.

За кордоном в якості наповнювача комбікормів в значних обсягах використовується жом (до 6%), меляса (до 7%), в Україні відповідно 0,03%...0,15%; високоенергетичний компонент тваринний жир (до 6%), у нас - 0,02%.

В економічно розвинених країнах висока ефективність всіх етапів технологічного процесу переробки сільськогосподарської сировини в різноманітні високоякісні комбікорми відповідає потребам сучасного інтенсивного тваринництва і сприяє раціонального використання кормових ресурсів.

Конкуренція на ринку кормів вимагає постійного пошуку нових шляхів підвищення якості комбікормів і зниження виробничих витрат. Зокрема

розробляються і впроваджуються національні програми збільшення виробництва кормового білка на базі власних ресурсів.

Використання кормів високої якості окупається в тваринництві, як мінімум на 20...30% вище, ніж згодовування неповноцінного фуражу. Оптимальне функціонування тваринництва можливе лише при раціональній оснащеності господарств усіма основними елементами його матеріально-технічної бази, в числі яких першорядне значення мають корми, їх кількість, склад і якість.

1.2 Класифікація робочих органів для подрібнення кускових матеріалів і зернопродуктів

В даний час використовується велика кількість різноманітних дробарок кормів, істотно розрізняються між собою по принципу роботи, технологічній схемі.

У дробильної машини в залежності від її призначення і принципу дії можуть використовуватися такі види подрібнення рис. 1.1.

Так, для аналізу процесів подрібнення стеблових кормів, корені-бульбоплодів і м'ясо - рибних кормів використовується створена академіком Горячкіна В.П. теорія різання, що має велике наукове і практичне значення. Подальший розвиток вона отримала в працях академіка Желіговського В.А., Резника Н.Є. та інших вчених.

Класифікація подрібнюючих машин запропоновані Сіденко П.М., Акуновим В.І., Маргулісом М.Л., Гійо Роже, Ромадін В.П., ходок-вим Г.С., Андрєєвим РЄ. і багатьма іншими вченими.

Один з варіантів систематизації помольних машин розробив Ходаков Г.С. . Згідно із запропонованою їм класифікації дробарки можна розділити:

- за способом руйнування в них матеріалів, коли продукт, призначений для подрібнення, руйнується під дією на нього робочих органів подрібнювача

(наприклад, тіл, що мелють) або за рахунок взаємодії частинок матеріалу, що подрібнюється між собою;

- за характером впливу елементів навколишнього середовища - рідини або газу;

- за призначенням.

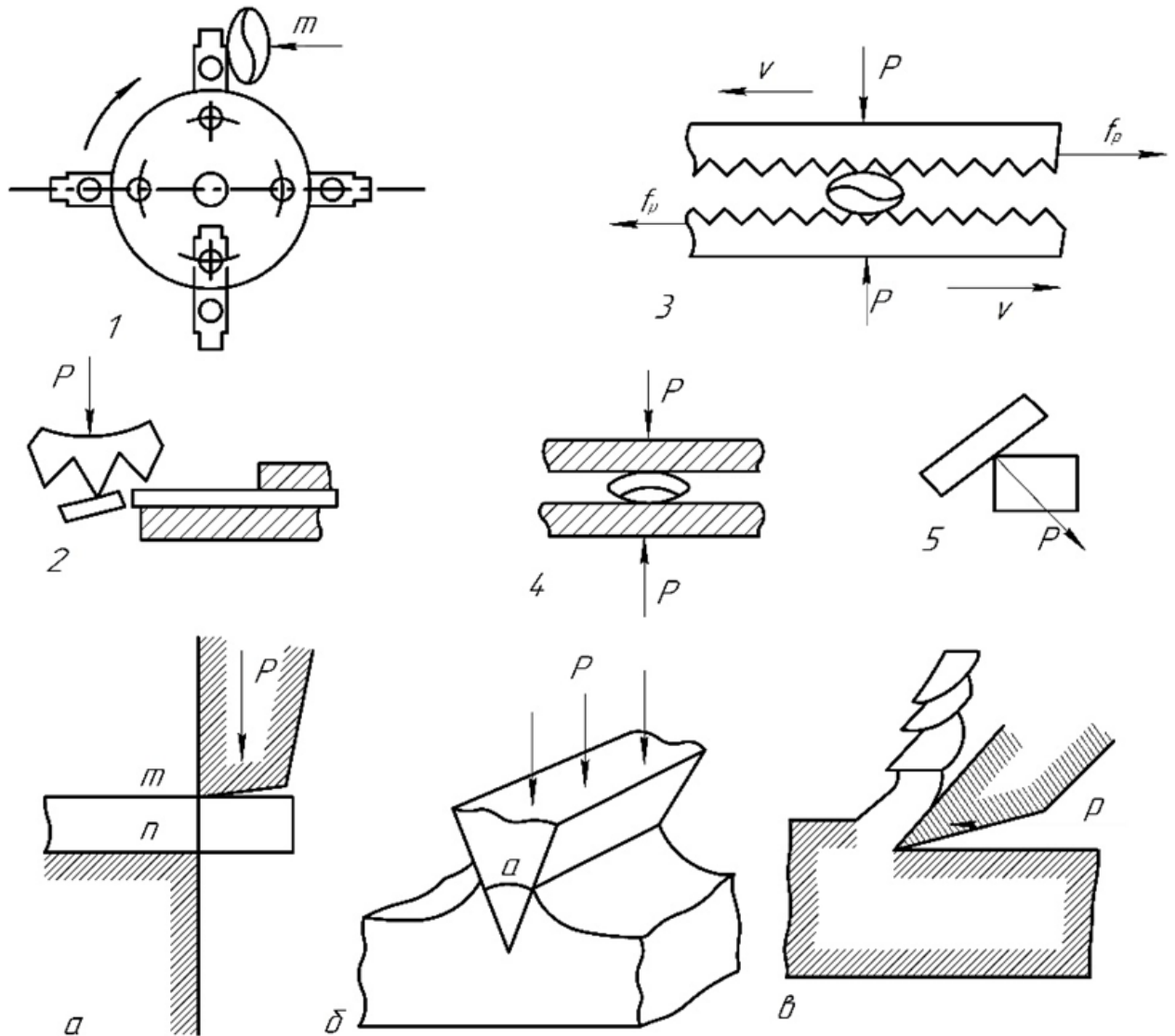


Рис 1.1. Способи подрібнення кормів; 1 - подрібнення ударом, 2 - розколювання, 3 - стирання, 4 - різання (а - пуансоном, б - лезом, в - різцем)

Способи подрібнення вибирають в залежності від фізико-механічних властивості корму

Таблиця 1.1 - Область застосування робочих органів, призначених для подрібнення кормів

Робочі органи	Технологічна операція			
	Подрібнення сипучих матеріалів	Розплющення зерна	Подрібнення грубих кормів	Подрібнення корнеплодів
Молоткові	+	-	+	+
Штифтові	+	-	+	-
Ножеві	-	-	+	+
Вльцеві	+	+	-	-

Умовні позначення: «+» застосовуються; «-» не застосовуються.

Більш конкретну класифікацію ріжучих апаратів зі строгими визначеннями їх класифікаційних ознак і закономірностей виникнення їх класів, видів і різновидів дав Резнік Н.Е .. У своїх працях він за основні признаки прийняв вид руху робочих органів, характер процесу різання і конструктивне оформлення. У даних працях ведеться класифікація за вторинними ознаками: вид протиріжучого підпору; способу харчування (безперервний або періодичний); відведення відпрацьованого матеріалу (механічний, пневматичний, механічно - пневматичний).

Подібний опис технологічних і аеродинамічних схем роботи дробарок сільськогосподарського призначення наведені в роботі Кулаковського І.В. та інших вчених. З наведених даних можна зробити висновок, що основний тип дробарок - молоткові, які працюють тільки (або переважно) по ударному принципу. В існуючій літературі дається класифікація молоткових кормодробарок авторами Кулаковским І.В., Заріповим А.І., Ялпачиком Ф.Е., Мельниковим СВ.

Залежно від вигляду корму і зоотехнічних вимог до якості його подрібнення застосовуються наступні типи подрібнюючих апаратів, представлених в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Застосування подрібнюючих апаратів

Тип подрібнюючого апарату		Вид оброблюемого корма			
		Зерно	Стеблові		Соковиті
			Грубі	Зелені	
Молотковий		+	+	-	+
Штифтовий		+	+	-	-
Ножевий		-	+	+	+
Комбінований	Ножевий і щільовий (з двома роторами)	-	+	+	+
	Молотковий з ножами	+	+	+	+
	Ножевий і молотковий (з двома роторами)	+	+	+	+

Умовні позначення: + застосовується; - не застосовується.

Класифікацію дробарок ударної дії згрупованих по наступним найбільш загальних ознакам пропонує Малаев М.Д., відповідно до рисунку 1.2:

- за способом розгону матеріалу, що подрібнюється на газоструйне, відцентрові та інерційні;

- за способом переважного навантаження на обмежено ударне, стираючі та відбивні;

- за типом робочих органів на барабанні, роторні, молоткові і дискові.

В цю класифікацію не ввійшли застарілі і рідко використовувані у виробництві подрібнювачі.

Згідно зі схемою, відповідно до рисунку 2 перші дві ознаки характеризують технологічний процес роботи подрібнювача, перша ознака розкриває процес розгону, другий - спосіб подрібнення, а третій - характеризує його конструкцію. Така класифікація дає можливість об'єднати в одну групу подрібнювачі, що працюють за принципом певного способу подрібнення незалежно від їх конструктивних відмінностей. Це спрощує класифікацію, так як існує всього лише кілька способів подрібнення.

Дана класифікація, відповідно до рисунка 2 об'єднує подрібнювачі за подібністю технологічного процесу і одночасно характеризує конструкцію камери подрібнення.

Згідно класифікаційної схемою, в газоструминних подрібнювачах матеріал розганяється струменями повітря і різних газів. У відцентрових подрібнювачах матеріал направляється в центральну частину диска обертаючого подрібнювача, а потім розганяється відцентровою силою.

У інерційних подрібнювачах матеріал потрапляє безпосередньо на робочий орган, встановлений на поверхні диска, і відкидає після зіткнення.

Група подрібнювачів працюють за принципом обмеженого удару, застосовується для надшвидкісного подрібнення (найбільший розмір вихідного продукту - менше 3 мм).

Група подрібнювачів, які працюють за способом удару і стирання, застосовується для подрібнення різних матеріалів з діаметром часток до 100 мм. Крупність помелу залежить від конструктивних особливостей подрібнювачів.

У ударно-відбивних подрібнювачах матеріал руйнується при зіткненні з ударними і відбійними робочими органами. Тонина помелу залежить від швидкості ударних робочих органів.

За типом робочих органів в різних галузях народного господарства широке застосування знайшли такі подрібнювачі: барабанні, роторні, молоткові і дискові.

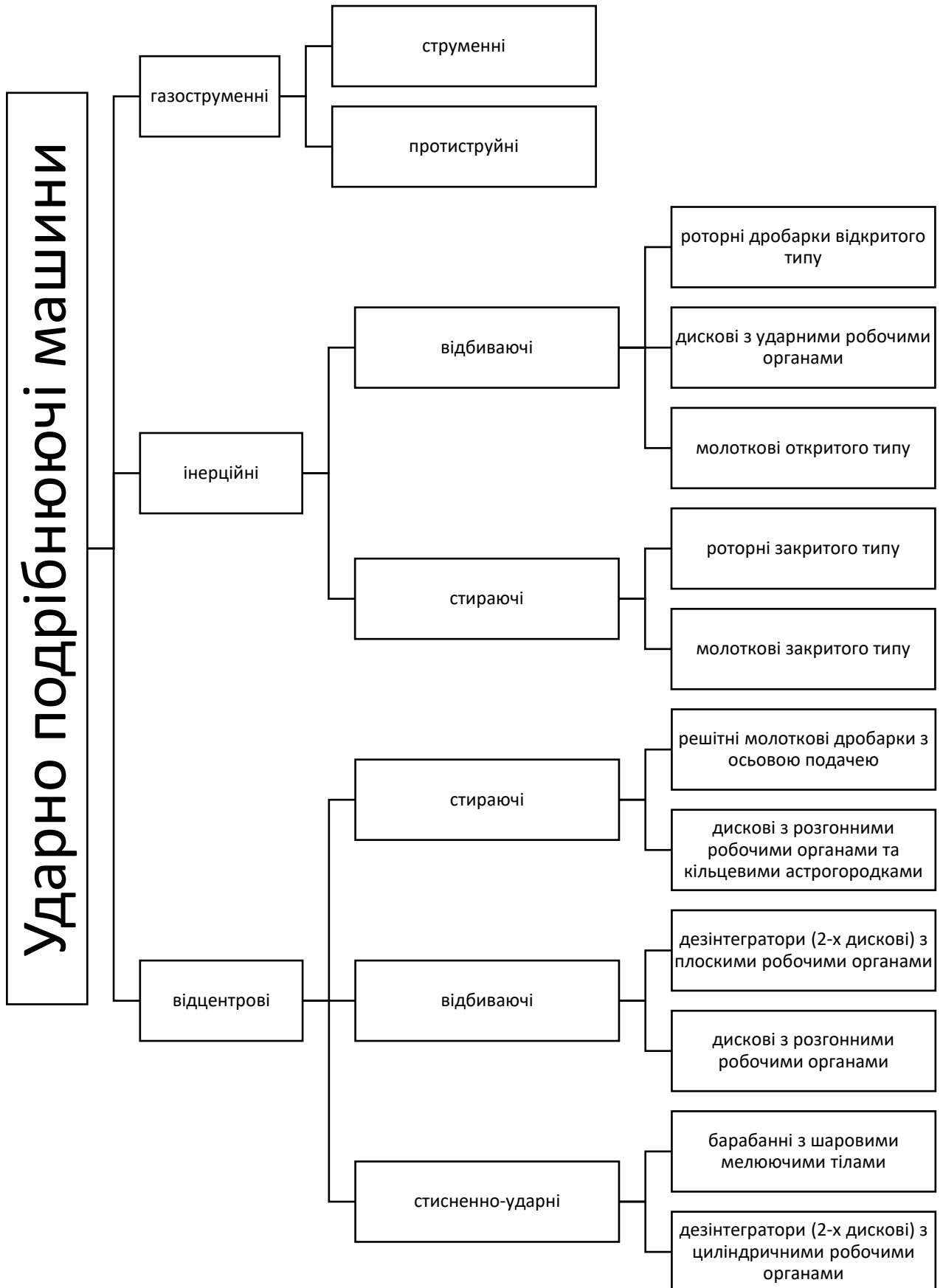


Рисунок 1.2 - Класифікація за подібністю технологічного процесу подрібнюючих машин ударної дії.

У барабанних подрібнювачах дроблення відбувається в наслідок удару падаючих шарів (обмеженим ударом), які піднімаються на деяку висоту при обертанні корпусу подрібнювача, притискаючись до нього відцентровою силою. Ці подрібнювачі широко застосовуються в будівництві для надтонкого подрібнювача цементу та інших поєднуючих матеріалів.

Роторні дробарки мають масивні бильця, жорстко закріплені на зовнішній поверхні ротора, що обертаються навколо горизонтальної осі. Залежно від конструкції відбивних пристроїв, процес подрібнення здійснюється або тільки вільним ударом (ударом з бильцем і від відбивні пристрої), або ще з подальшим перетиранням від відбивні робочі органи. Тому перші подрібнювачі відносяться до інерційно-відбивної групи, другі - до інерційно-стираючої. Роторні дробарки в кормовиробництві не застосовуються через металоємність конструкції.

Питанням розробки теорії молоткової дробарки присвятили свої праці Альошкін В.Р., Єлісеєв В.А., Мельников СВ., Плохов Ф.Г., Рощин П.М., Сироватка В.І., Хусід С.Д., Гернета М . М., Леонтьєва П.І. та інші, в основі яких закладені фундаментальні праці академіка Горячкіна В.П.

При подрібненні зерна, «частинки» якого мають малу масу, первинний удар лише вводить зерно в сферу дії молотків, отбрасивая його на периферію, але не руйнуючи на частини.

У молоткових дробарках сільськогосподарського призначення матеріал подрібнюється шляхом багаторазового ударного впливу молотків і стирання при проході їх в середовищі рухомого шару. Гострі грані ріфлів дек і кромки отворів решета працюють як різці (протирізальна частина), деформуючи насуваючі на них частки матеріалу, розміщені на зовнішній стороні циркулюючого кільцевого шару. Частинки, розташовані в середній частині шару, в зазорі між кінцями молотків і решетом, ковзають по лобовій грані молотка, потім з силою відкидаються і також піддаються деформації в результаті дії ударної хвилі від молотків по шару і взаємних переміщень, зумовлених різницею швидкостей частинок.

Дослідженню робочого процесу молоткових дробарок присвячені роботи Макарова І.В. Робочий процес молоткової дробарки він пояснює наступним чином: матеріал, вступаючи в дробарку, піддається впливу обертових з великою швидкістю молотків, які наносять удари, дроблять матеріал і відкидають його в сторону. Відкинуті з великою швидкістю частки на своєму шляху врізаються або стінку (деку) корпусу машини, або решето, вдаряються об них, і відбиваючись, знову попадають під дію молотка. Так триває до тих пір, поки частки не досягнуть таких розмірів, при яких вони можуть вільно пройти через отвір решета.

Також Макаров І.В. розглядає чотири випадки дії удару: 1 - удар вліт, 2 - удар об нерухому масу машини, 3 - удар по нерухомій масі корму і 4 - удар при зіткненні частинок корму. При ударі вліт деформація в сухому кормі йде далеко в глиб матеріалу.

Якщо матеріал руйнується не повністю, то він виявляється достатньо підготовленим до цього і удар об нерухому масу машини доводить розпочате руйнування до кінця.

Рух же молотка над решетом супроводжується не тільки ударом за матеріалом, але і стиранням його.

У конструктивному виконанні дробарки можуть бути як однороторні так і багатороторні з розташуванням роторів на одній і декілька вертикальних або горизонтальних осях обертання. У однороторних дробарок основними елементами є розгінний ротор і нерухомі елементи, в результаті удару зерна в які відбувається його руйнування. Багатороторні дробарки можуть мати тільки розгінні ротори зі збільшенням або зменшенням їх діаметру в напрямку вивантаження матеріала або один чисто розгінний, а наступні - ударні. При цьому суміжні ударні ротори мають зустрічне обертання і виконують одночасно функцію удару і функцію розгону.

1.3 Аналіз впливу конструктивно-режимних параметрів подрібнювача концентрованих кормів

Вплив конструктивних особливостей молотків на процес подрібнення ще в 1927 році розглянув професор W.C. Krueger. Він зробив висновок, що розстанівка молотків і їх кількість не впливають на процес подрібнення.

Демидов П.Г. зазначив, що ефективність роботи дробарки залежить від числа пакетів і молотків.

Професор Купріц Я.М. стверджував, що товщина молотків повинна вибиратися в залежності від виду подрібнюваної культури.

Дослідивши вплив гострих граней молотка на показники роботи дробарки Сироватка В.І. прийшов до висновку, що молотки з гострою формою граней підвищують продуктивність в 1,2 ... 1,3 рази.

У своїх дослідженнях Шуб Г.І. прийшов до висновку, що для подрібнення зернових культур товщина молотка повинна знаходитися в діапазоні від 1,5 до 2 мм, а для подрібнення кускових матеріалів від 6 до 8 мм.

Глибокі дослідження впливу кількості, товщини і форми молотків на енергоємність і якість одержуваного продукту проведені Зеленева А.А. Їм були зроблені наступні висновки:

- товщина молотків при подрібненні зерна повинна знаходитися в межі 1,5 ... 2 мм. Зменшення товщини молотків від 12 до 2 мм знижує питому витрату енергії на 5 ... 7%;

- при подрібненні зерна кращим за формою є пластинчастий молоток з радіально розташованими гранями;

- при збільшенні числа молотків від 12 до 72 знижує питому витрату енергії на 4 .. 25%.

На думку Мельникова С.В. рисунок 1.3, молотки дробарок бувають пластинчасті і об'ємні.

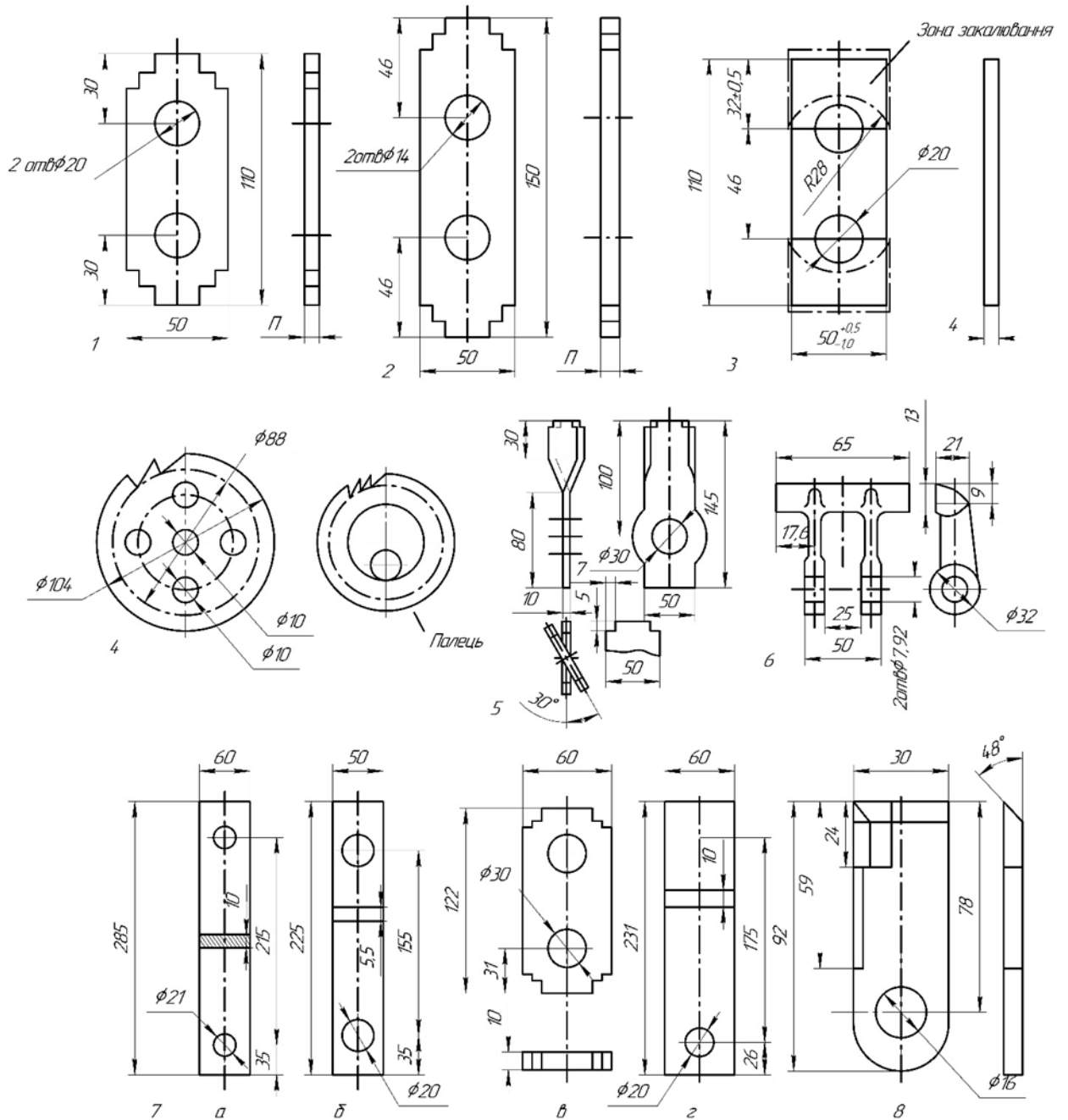


Рисунок 1.3 - Конструкції молотків

1.4 Сучасне уявлення про параметри процесу подрібнення продукту в молоткових дробарках

Питома витрата електроенергії - один з основних показників, що оцінює технологічні властивості зерна. Величина питомої витрати електроенергії визначається структурно-механічними властивостями матеріалу, що

переробляється залежить від організації процесу подрібнення, конструктивних особливостей подрібнюючих машин, продуктивністю, ступенем подрібнення, вологістю, а також споживаної потужністю для подрібнення продукту.

У комбікормової промисловості енергоємність оцінюють витратами електроенергії на вироблення 1т зернової сировини, включаючи енергозатрати на всіх етапах виробництва - від приймання зерна до випуску готової продукції. У зв'язку з відмінностями структурно-механічних властивостей зерна, режимів подрібнення витрати електроенергії на подрібнення навіть для одного і того ж підприємства можуть сильно коливатися.

Для молоткових дробарок закритого типу, в яких матеріал подрібнюється молотками в робочій камері, обмеженою декою і ситом, продуктивність Q (кг / с) і споживана потужність N (Вт) визначають по відомим емпіричним формулам:

$$Q = k_1 * \rho * D^2 * B * n, \quad (1.1)$$

$$N_{\text{роб}} = k_1 * k_2 * D^2 * B * n, \quad (1.2)$$

де D і B - діаметр і довжина кола ротора, м;

n - частота обертання ротора, об / с;

ρ - насипна щільність матеріалу, кг / м³.

Значення коефіцієнта k_1 для решіт з отворами діаметром до 3 мм знаходиться в межах $(1,3 \dots 1,7) * 10^{-4}$, 3 до 10 мм - $(2,2 \dots 2,5) * 10^{-4}$ відповідно: коефіцієнт k_2 враховує ступінь подрібнення і становить відповідно для грубого помелу 6,4 ... 7 і дрібного помелу 7 ... 10,5.

Формули (1.1) і (1.2), носять емпіричний і, багато в чому орієнтовний характер; крім того в формулу (1.3) включена щільність матеріалу, а не щільність повітряно-продуктового шару.

Аналіз наведених залежностей показує, що збільшення колової швидкості молотків призводить до зростання продуктивності, яка росте до певної межі і лімітується пропускної спроможності решіт (інтенсивністю процесу просіювання подрібненої матеріалу), яка визначається наступною формулою:

$$I_p = (1 - f_p) * d_0^2 * i_0 * v_r * (1 - 0,215 * \cos\varphi), \quad (1.44)$$

де f_p - коефіцієнт, що характеризує умови сепарації продуктів подрібнення;

d_0 - діаметр отворів решета, м;

v_r - радіальна швидкість руху матеріалу, м / с;

i_0 - число отворів на одиниці площі решета;

φ - кут між вектором абсолютної швидкості частинки і радіусом ротора, рад.

Прямокутної формі молоткам при швидкості $v_M = 60 \dots 100$ м / с відповідно значення $\varphi = 80 \dots 85$ °. Межа швидкості молотка v_N , при якому можна проводити подрібнення, буде тим нижче, чим більше кут обхвату ротора ситом a_p , тобто при більшому куті обхвату ротора ситом a_p можна подрібнювати продукт на менших колових швидкостях молотка.

У зернодробарок закритого типу кут обхвату ротора решетом становить $120 \dots 360$ ° і обмежується, в основному, способом подачі матеріала (центральний, тангенціальний). Встановлено, що при $a_p = 360$ ° для подрібнення матеріалу створюються найкращі умови.

За умови $a_p = 360$ ° можливе лише при центральній подачі сировини, що обмежено довжиною ротора, так як з її збільшенням різко зростає нерівномірність розподілу подрібненого матеріала по поверхні решіт і молотків.

Однак використання дробарок з кутом обхвату ротора ситової поверхнею $a_p = 360^\circ$ без деки може привести до можливості прориву сита в місці інтенсивних ударних впливів.

Від величини кута обхвату ротора залежить і однорідність отриманого продукту: при $a_p = 360^\circ$ вона становить 50 ... 70%, при менших значеннях - не більше 45%.

Для нормальної роботи решітної дробарки закритого типу вологість зерна не повинна перевищувати 12 ... 14%, а для мінеральних добавок 8 ... 9%.

Формула для визначення фактичної продуктивності дробарок при подрібненні окремих видів зернової сировини запропонована Глебовим Л.А., прийме наступний вид:

$$Q_\phi = k_1 * k_2 * k_3 * Q, \quad (1.5)$$

де Q - паспортна продуктивність дробарки при подрібненні ячменю вологістю 13% до крупності частинок проходом через сито з отворами діаметром 3 мм - не менше 95%, кг / с;

k_1 - коефіцієнт размолотості;

k_2 - коефіцієнт енергоємності процесу подрібнення;

k_3 - коефіцієнт вологості.

Коефіцієнт k_1 , у різних дробарок різних, а значення коефіцієнтів k_2 і k_3 змінюються в залежності від вологості вихідної сировини і крупності готового продукту: їх величини знаходяться по встановленими емпіричними формулами або номограм, отриманим в результаті експериментальних досліджень.

Енергоємність процесу подрібнення в дробарці може бути визначена:

$$W = \frac{N_{\text{роб}} - N_{\text{xx}}}{Q}$$

де N_{xx} - потужність дробарки на холостому ході, Вт;

Q - продуктивність, кг/с

Запропоновано також формула для визначення ККД дробарок [35]:

$$\eta_{Дii} = \frac{\Delta U_i}{\Delta U_{Дi}} * 100, \quad (1.6)$$

де ΔU_i - питомі витрати енергії, Вт*с / кг;

$\Delta U_{Дi}$ - питома витрата енергії дробарки, Вт*с / кг.

Формула для визначення ККД процесу подрібнення має наступний вид:

$$\eta_{Пii} = \frac{\Delta U_i}{\Delta N_{Пi}} * 100, \quad (1.7)$$

де $\Delta N_{Пi}$ - питома витрата енергії процесу подрібнення, Вт*с / кг.

У формулах (1.6) і (1.7) величини в знаменнику - питомі витрати енергії, носять вид складних емпіричних рівнянь і індивідуальні для кожного виду сировини свої, Глебов Л.А. отримав рівняння для чотирьох зернових основних культур, хоча їх склад значно різноманітніший, крім того до складу комбікорму входять різні мінеральні добавки, які також піддаються подрібненню і вимагають додаткових витрат енергії.

Для енергетичної оцінки процесів подрібнення крім цього, потрібно мати уявлення про глибину процесу диспергування, тобто ступеня подрібнення.

На основі використання формули визначення ступеня подрібнення матеріалу Мельниковим СВ., запропонована залежність абсолютного значення ступеня подрібнення зернових злакових культур λ від діаметра решета в камері дробарки, прийме такий вигляд:

$$\lambda = \frac{D}{d}, \quad (1.8)$$

де D - середній розмір часток вихідного матеріалу, м;

d - середній розмір частини продукту подрібнення, м.

Якщо вихідний матеріал - зерно сільськогосподарських культур, то з огляду на різноманітність його будови і складність форми, їх розміри одиничних зернин найзручніше характеризувати величиною еквівалентного діаметра, прийме такий вигляд:

$$D_e = 1.124 * \sqrt[3]{V_3}, \quad (1.9)$$

де V_3 - об'єм однієї зернини, м³.

Формула (1.19) з урахуванням (1.20) може бути представлена в наступному вигляді:

$$\lambda = \frac{1,24 * \sqrt[3]{V_3}}{d}, \quad (1.10)$$

Характеристикою якості процесу подрібнення, як відомо є однорідність частинок, тобто частинок, що потрапляють в заданий інтервал дисперсності. Інтервал характеризується нижніми і верхніми межами крупності: верхня межа крупності означає – «не крупніше заданого діаметра»; нижня межа крупності означає – «не дрібніше заданого діаметра», таким чином, частинки, розміри яких знаходяться вище верхньої межі, відносяться до недоподрібнених, а частинки, розмір яких нижче нижньої межі, відносяться до переподрібнених.

1.5 Висновки

1. У літературних джерелах недостатньо даних, що стосуються подрібнення зерна різанням з ковзанням. Існують різні види подрібнювачів,

основними недоліками, яких є: велика метало і енергоємність, неоднорідний гранулометричний склад подрібненого продукту, велике виділення пилоподібної фракції, швидкий знос робочих органів. Все вищевикладене вказує на недоцільність застосування даних видів подрібнювачів в сільському фермерському господарству.

2. Доцільно кут заточки вибирати таким, при якому лезо ножа залишиться досить стійким до зламу, тривалий час збереже гостроту, а зусилля різання буде мінімальним.

3. Звести до мінімуму кількість пилоподібної фракції за рахунок раціонального режиму роботи подрібнювача.

4. Знизити енерговитрати при подрібненні зерна.

З урахуванням викладеного була поставлена мета: обґрунтувати вплив конструктивно-режимних параметрів робочих органів (ножів) дробарки на енергоємність процесу подрібнення зернових мас.

У зв'язку з поставленою метою поставлені такі завдання:

1. Розробити математичну модель енергозберігаючого процесу дроблення сипучих кормів із застосуванням робочих органів (ножів) у вигляді верзіїри.

2. Обґрунтувати оптимальний кут заточування робочих органів (ножів).

3. Обґрунтувати конструкцію подрібнювача зерна, що працює за сукупним принципом удару і різання з ковзанням, що забезпечує зниження енерговитрат.

4. Визначити закономірність енергоємності процесу подрібнення від геометричних параметрів робочих органів (ножів).

5. Дати техніко-економічну оцінку дробарки з пропонованими робочими органами (ножами) на процес подрібнення.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ МОЛОТКОВОЇ ДРОБАРКИ

2.1 Теоретичний опис руху кормової суміші в робочій камері

Аналіз теоретичних досліджень по процесу подрібнення фуражного зерна в робочій камері подрібнювача показав, що більшість цих досліджень заснований на зовнішніх факторах, на конструктивно-технологічні параметри робочих органів, фізико-механічних властивостях подрібнюємої сировини і готового продукту.

Процес руйнування здійснюється в робочій камері дробарки при взаємодії робочих органів (ножів, сит) з об'єктом переробки - пшеницею, ячменем, горохом, вівсом. Результат взаємодії є утворення готового продукту, тобто отримання корму для згодовування тваринам. В результаті процес руйнування характеризується наступними параметрами це - витрати енергії і якість одержуваного продукту при економічній доцільності їх виконання при всіх інших рівних умовах. Витрати енергії повинні бути мінімальними, а якість отриманого продукту відповідати зоотехнічним вимогам.

Для цього нам необхідно вивчити процес руйнування зерна в робочій камері.

Роботу в робочій камері можна розділити на кілька етапів:

- період завантаження;
- робочий період: а) не відбувається різання, б) відбувається різання;
- період вивантаження.

На першому етапі відбувається завантаження робочої камери до номінального значення, в результаті чого продуктивність збільшується, матеріал подається в робочу камеру подрібнювача і потрапляє під удари ножів і починається процес подрібнення.

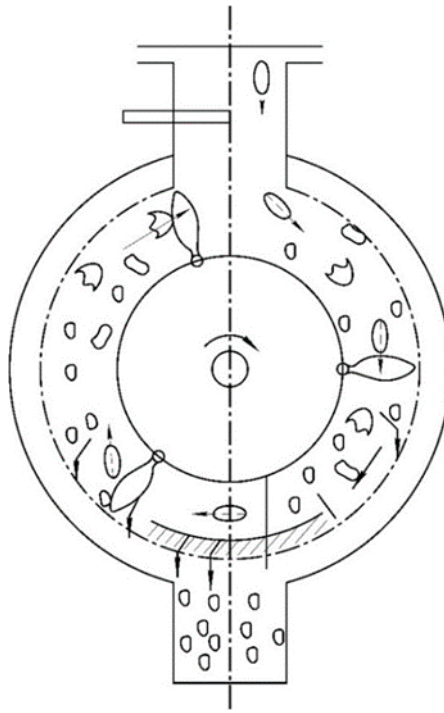


Рисунок 2.1 - Класична схема подрібнення.

Подрібнені частинки проходить через отвори сита і утворюють готовий продукт. Цей етап вважається несталим режимом роботи подрібнювача. В камеру надходить більше матеріалу, ніж виводиться з неї. При цьому відбувається накопичення матеріалу в робочій камері відповідно формулою:

$$m > Q, \quad (2.1)$$

де m - масова подача матеріалу в камеру за одиницю часу, кг / с;

Q - продуктивність подрібнювача або масовий вихід готового продукту з робочої камери за одиницю часу; кг / с.

Другий етап характеризується сталим режимом роботи подрібнювача, коли кількість що надходить в робочу камеру матеріалу рівна кількості готового продукту, що виходить через сито за його межі, відповідно до формули:

$$m = Q \text{ або } m - Q = 0. \quad (2.2)$$

Третій етап характеризується припиненням завантаження подрібнювача і звільненням робочої камери від матеріалу, що подрібнюється, відповідно з формулою:

$$m = 0. \quad (2.3)$$

У робочій камері подрібнювача йде процес руйнування матеріалу і отримання з нього готового продукту. Процес руйнування матеріалу досить складний. Як зазначалося раніше, два показника характеризують процес руйнування: витрати енергії і якість одержуваного продукту. Продуктивність є похідною цих двох показників, при умовах, що зі збільшенням крупності - продуктивність збільшується, питома витрата енергії - знижується.

Витрати енергії на подрібнення матеріалу в установці для подрібнення зерна є складною функцією багатьох змінних величин: фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється, технологічних і конструктивно-геометричних параметрів робочих органів.

Для подрібнювача закритого типу ця функція має вигляд і може бути виражена формулою:

$$A = f(Q, \sigma_p, K_T, K_S, S, t, K_a, K_{\text{И}}, M, K_z, \eta_q, \eta, K_{\text{Ж}}, \beta), \quad (2.4)$$

де A - витрачається робота на подрібнення, Дж / с;

Q - продуктивність подрібнювача, кг / с;

σ_p - руйнівне напруження, Н / м

K_T - коефіцієнт досконалості технологічного процесу (спосіб руйнування);

K_S - енергія, необхідна на освіт 1 м нової поверхно-сти, Дж / м²;

S - зазор між кінцями робочих органів і ситом, м;

t - товщина ножів, м;

K_a - коефіцієнт співвідношення між подрібнюють продуктом і кількістю надійшов повітря;

K_H - коефіцієнт ступеня зносу;

M - ступінь розмелювання;

K_3 - зона подачі матеріалу в кормодробарки;

η_q - ККД процесу подрібнення;

η - механічний коефіцієнт корисної дії;

$K_{ж}$ - коефіцієнт що враховує живий перетин сита;

β - кут загострення ножа, рад.

Дана функція (2.4) знаходиться в певних співвідношеннях і пов'язана між собою. Деякі складові мають теоретичні залежності, інші вимагають подальшого дослідження. З даної функції досліджувалися наступні складові: Q - продуктивність через подрібнювача, кг / с; t - товщина ножів, м; β - кут загострення ножа, рад.

Модель роботи подрібнювача прийmemo, у вигляді кінетичної енергії ротора з шарнірно підвішеними - ножами, енергія витрачається на повідомлення руху по кільцевому шару матеріалу, що подрібнюється матеріалу за рахунок ударних імпульсів. Кільцевий шар (потік матеріалу, що подрібнюється) знаходиться в двох рухах:

1. рух по колу за рахунок імпульсів одержуваних від ножів;
2. рух при виході за межі ситової поверхні.

При сталому режимі роботи подрібнювача циркулює постійна кількість матеріалу. Одночасно циркулюючий шар поповнюється новими частинками і звільняється від подрібнених частинок у вигляді готового продукту.

Для спрощення аналізу процесу в робочій камері, зробимо припущення: товщина кругового шару постійна у всіх його точках, удар часток один по одному і ножів по частинкам є непружним, щільність матеріалу лінійно залежить від товщини шару.

З раніше проведених досліджень по створенню математичної моделі подрібнення одиночних частинок з теорії подрібнюючих машин і механізмів стали основою, дали можливість узагальнити і на підставі теоретичного аналізу визначити шляхи покращення конструкцій, розробити загальну методику розрахунку основних конструктивних і технологічних параметрів робочих органів, обґрунтувати умови зниження енергоємності в подрібнювачі зерна

Витрачену роботу на подрібнення, потрібно визначати як суму робіт, що витрачаються на попередній процес подрібнення обсягу ΔV на утворення нової поверхні ΔS це можна записати в розгонутому вигляді такої формули:

$$A = A_V + A_S + A_u = k * \Delta V + a = \Delta S + A_u , \quad (2.5)$$

де A - питома робота, що витрачається на подрібнення;

A_V - питома робота, витрачається на зміну об'єму;

A_S - питома робота, що витрачається на процес утворення нових поверхонь;

A_u - питома робота, що витрачається на зношування робочих органів;

ΔV - отриманий обсяг подрібненого матеріалу;

k - коефіцієнт пропорційності, що враховує витрати енергії на зміну обсягу частинок;

ΔS - отримується нова сумарна поверхня частинок ма-ла;

a - коефіцієнт пропорційності, що враховує витрати енергії і зміна сумарної поверхні частинок матеріала.

З основного закону подрібнення (2.2), виходить, що повна робота подрібнення дорівнює сумі робіт, що витрачаються на деформацію частини об'єма руйнуючого шматка і на утворення нових поверхонь.

При цьому коефіцієнт корисної дії (ККД) процесу подрібнення визначається як:

$$\eta_{\text{под}} = \frac{A_S}{A_V} + A_S + A_u . \quad (2.6)$$

Аналізуючи рівняння (2.6) і спираючись на висновки першого розділу, приходимо до висновку, що для підвищення ефективності та ККД процесу подрібнення необхідно виконати наступне:

- зменшити роботу пружних деформацій A_V можливо, шляхом використання руйнуючих робочих органів, що працюють способом подрібнення різанням з ковзанням. Різання зерна за мінімальним перерізом, бажано виконувати на малих радіусах, тобто $A_V \rightarrow \min$;

- збільшити роботу на утворення нових поверхонь A_S за рахунок використання багаторазового подрібнення, що дозволяє отримувати на кожному радіусі визначений гранулометричний склад з виходом готового продукту з робочої камери, побібною пристрою, $A_S \rightarrow \max$;

- конструктивно передбачити зменшення роботи на деформації і зношування робочих органів, $A_u \rightarrow \min$.

2.2 Визначення радіальної і колової швидкості частинок при взаємодії з робочим органом – ножем

Всередині робочої камери подрібнювача рухається круговий шар або потік матеріалу, що подрібнюється. Потік визначається швидкістю $\vartheta_{\text{п}}$ рухомих частинок, площею поперечного перерізу S_0 і середньою щільністю матеріалу (кг / м) ρ . Чим більша швидкість, тим більше матеріалу пройде через перетин і більше зусилля потрібно з боку робочих органів для його переміщення.

Обсяг простору (м / с), зайнятого матеріалом, що переміщуються в одиницю часу через перетин S_0 буде дорівнювати:

$$V = S_0 * \vartheta_{\Pi} . \quad (2.7)$$

Тоді масова витрата (кг / с) буде дорівнює:

$$\mu = S_0 * \vartheta_{\Pi} * \rho . \quad (2.8)$$

Розглянемо процес взаємодії робочого органу - ножа з потоком, що подрібнюється.

Із закону збереження кількості руху сила тиску потоку на лобову поверхню ножів, що рухаються зі швидкістю ϑ_{Π} , спрямована по нормалі до поверхні і дорівнює:

$$F * dt = m_{\Pi} * (\vartheta_{\Pi} \pm \vartheta_0) , \quad (2.9)$$

де F - сила тиску потоку, Н;

m_{Π} - маса переміщуваного матеріалу, кг;

ϑ_{Π} - швидкість потоку, м / с;

ϑ_0 - початкова швидкість, м / с.

$$F = \frac{m_{\Pi}}{dt} * (\vartheta_{\Pi} \pm \vartheta_0) . \quad (2.10)$$

З огляду на, що $\frac{m_{\Pi}}{dt}$ - масова витрата, отримаємо наступний вираз:

$$F = \mu * (\vartheta_{\Pi} \pm \vartheta_0) . \quad (2.11)$$

У молоткових дробарках, як правило $\vartheta_0 = 0$ і її значенням можна знехтувати. Тоді формула (2.10) спроститься і прийме наступний вигляд:

$$F = \mu * \vartheta_{\Pi} . \quad (2.12)$$

Для визначення швидкості ϑ_{Π} введемо колову швидкість ϑ точки O на робочій поверхні ножа і кут α між радіусом-вектором R точки O і дотичній до поверхні ножа.

Розглядаючи ϑ_{Π} як абсолютну швидкість руху точки O потоку, а ϑ як переносну, визначимо відносну швидкість потоку по по-поверхні ножа за такою формулою:

$$\vartheta_{\tau} = \vartheta * \sin\alpha . \quad (2.13)$$

Можна припустити, що в результаті взаємодії ножа з потоком, виникає сила $F_v = \mu * \vartheta$, що діє в напрямку колової швидкості ϑ , і сила $F_{\tau} = \mu * \vartheta_{\tau}$, що діє в напрямку, дотичній до поверхні ножа, в напрямку швидкості ϑ_{τ} , рисунок 2.3.

Під дією сили $F_v = \mu * \vartheta$ потік вільно переміщується зі швидкістю ϑ в напрямку колової швидкості точки на поверхні ножа, а під дією сили $F_{\tau} = \mu * \vartheta_{\tau}$ потік переміщується вздовж поверхні ножа. Стан цієї поверхні визначається коефіцієнтом тертя f .

Для визначення швидкості руху потоку відносно поверхні ножа з урахуванням коефіцієнта тертя складемо диференціальне рівняння відносного руху потоку по поверхні ножа, отримаємо такий вираз:

$$d * m * \vartheta_{\tau} = F_{\tau} * dt - f * F * dt . \quad (2.14)$$

Якщо взяти ніж з ексцентричним розташуванням, а лезо ножа відносно від осі обертання на відстані e , то лінійну швидкість можна розкласти на нормальну ϑ_n і тангенціальну ϑ_t , тоді:

$$\vartheta = \omega * R, \text{ дотичний удар};$$

$$\vartheta_t = \omega * R_2, \text{ удар з ковзанням};$$

$$\vartheta_{n1} = \omega * R_1 * \cos\tau, \text{ прямий удар};$$

$$\vartheta_{n1} = \omega * R_3 * \cos\tau_1, \text{ удар з ковзанням}.$$

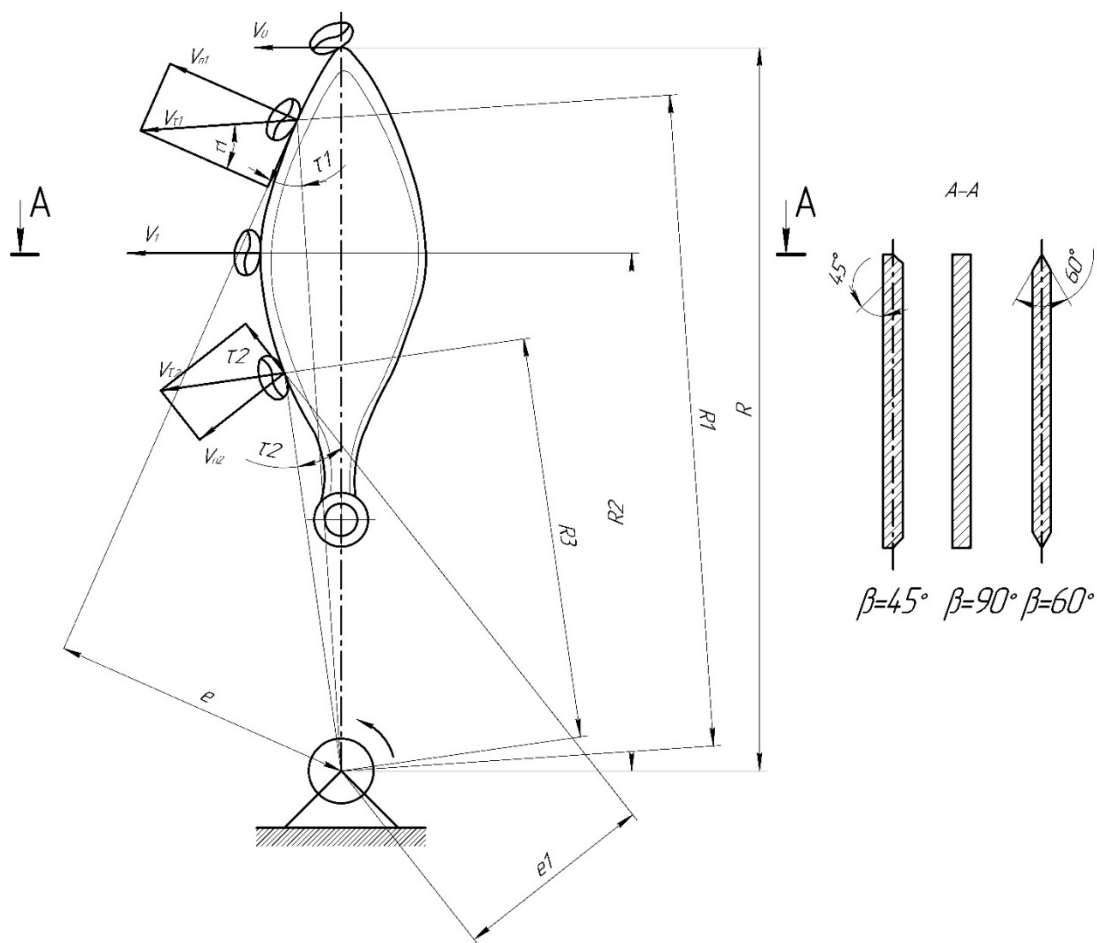


Рисунок 2.2 - Схема взаємодії частинок матеріалу з ножем

ϑ_n змінюється за законом прямої, а ϑ_t зберігає свою постійну величину для всіх точок леза:

$$\vartheta_{t1} = \omega * R_1 * \sin\tau;$$

$$e = R_1 * \sin\tau_1;$$

$$\vartheta_{t1} = \omega * R_3 * \sin\tau_2;$$

$$e_1 = R_3 * \sin\tau_2.$$

Вище представлені вирази показують, що в зоні R_1 подрібнюємого продукту більше, ніж в зоні R_3 .

Згідно з теоремою про зміну кількості руху матеріальної точки в диференціальній формі, прийме такий вигляд:

$$\frac{d(m \cdot v_\tau)}{dt} = F_\tau - f \cdot F_n = \mu \cdot v_\tau + f \cdot \mu \cdot v_n, \quad (2.15)$$

де $F_\tau = \mu \cdot v_\tau$ - рушійна сила;

$F_{\text{терт}} = \mu \cdot v_n$ - сила тертя потоку об поверхню ножа;

m - маса потоку матеріалу, що знаходиться на поверхні ножа в момент удару.

$$\frac{dm}{dt} \cdot v_\tau + m \cdot \frac{dv_\tau}{dt} = \mu \cdot v \cdot \sin \alpha - f \cdot v \cdot \cos \alpha.$$

За час зіткнення зміна швидкості $\frac{dv_\tau}{dt}$; зміна маси $\frac{dm}{dt} = \mu$; $f = \operatorname{tg} \varphi$,

де φ - кут тертя, тому отримаємо наступний вираз:

$$\frac{dm}{dt} \cdot v_\tau = \mu \cdot v \cdot \sin \alpha - \operatorname{tg} \varphi \cdot \mu \cdot v \cdot \cos \alpha, \quad (2.16)$$

$$v_\tau = v \cdot (\sin \alpha - \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \alpha),$$

$$v_\tau = v \cdot \left(\frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi} \right)$$

$$v_\tau = \frac{v \cdot \sin (\alpha - \varphi)}{\cos \varphi},$$

Аналіз формули показує, що існує зв'язок між коловою швидкістю точки ножа і відносною швидкістю v_τ .

2.3 Висновки

Проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

1. Кут заточки ножа впливає на зусилля різання з ковзанням;
2. Застосування кута заточування приводить до зміни продуктивності і зниження енерговитрат;
3. Отримана математична модель дозволяє на підставі виділених параметрів процесу: режимних; технологічних; конструктивно-геометричних; фізико-механічних дає можливість сформувати параметри ефекту;
4. Обраний в якості внутрішньої характеристики системи робочий орган (ніж) дозволяє сформувати модель параметрів ефекту що вітображає обсяг процесу; енергетичні витрати; якість готової продукції, дає можливість оптимізувати процес подрібнення.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

3.1 Загальна методика експериментальних досліджень

Вивчивши огляд літературних джерел і поставлені в роботі завдання необхідно вирішувати методом дослідження, включаючи експериментальні лабораторні дослідження і виробничі випробування з урахуванням особливостей змінних, що варіюються, факторів і їх кореляцію.

З метою вирішення поставлених завдань, а також експериментального підтвердження теоретичних передумов до програми досліджень включені наступні питання:

1. Досліджено якість подрібнення фуражного зерна в робочій камері подрібнювача;
2. Виготовлено установка для подрібнення зерна;
3. Виготовлені робочі органи - ножі з різним кутом заточення;
4. Виготовлений комплект сит з діаметром 2; 3; 4 мм;
5. Визначено співвідношення між питомою витратою енергії і модулем помелу;
6. Визначено енергоємність процесу подрібнення в кожному опиті шляхом розрахунку питомої витрати енергії;
7. Опрацьовано та проаналізовано результати експериментальних досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень були взяті зразки зернового матеріалу ячменю і пшениці для визначення наступних методів:

- вологість по ДСТУ 13496.5-85 «Комбікорми, сировину. Методи визначення вологості»;
- об'ємна маса по ДСТУ 10840-64 «Зерно. Методи визначення натуральної ваги »;

- визначення домішок за ДСТУ 30483-97 «Зерно. Методи визначення засміченості проходу дрібних зерен, вирівняності та крупності »;

Питаннями вивчення фізико-механічних властивостей зерна стосовно до процесу подрібнення займалися: Хусід С.Д., Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В., Дронова В.А., Егоров Г.А.

Дані дослідники встановили, що насіння навіть одного сорту зернових культур різних місць і років обробітку, розташування в колосі можуть володіти відмінними фізичними та геометричними розмірами. Тому виникає необхідність вивчити розмірні характеристики зернового матеріалу стосовно до конкретних умов.

Таблиця 3.1 - Основні фізико-механічні властивості зерна

Показники	Культура	
	Пшениця	Ячмінь
Довжина, мм	4,5...9	8...14
Ширина, мм	2,5...4,5	2,5...5
Товщина, мм	2,5...4,5	2...4,5
Еквівалентний діаметр, мм	2,8...5,5	3,2...6,5
Щільність, кг/м	1,5...1,7	1,3...1,4
Маса 1000 зернин, г	25...45	40...55
Об'ємна маса, кг/м ³	0,7...0,85	0,55...0,8
Коефіцієнт тертя:		
внутрішній	0,8...0,85	0,6...0,8
Зовнішній (по сталі)	0,4...0,7	0,4...0,7
Кут тертя по сталі, град	18...21	21
Кут природного укусу, град	26...36	26...49
Критична швидкість, м / с	9,..11,5	8,5...11

Для визначення основних фізико-механічних характеристик зерна скористалися розробленими методиками. Зведені дані за показниками (довжина, ширина, товщина), що характеризує лінійні розміри матеріалу, що подрібнюється, наводиться в таблиці 3.1, встановлено експериментально.

Лінійні розміри зернових культур, наведені в довідковій літературі [46] є типовими для зернового корму. Тому дані про щільність об'ємної маси, масі 1000 насінин, коефіцієнта тертя (внутрішнім і зовнішнім по сталі), кут тертя по сталі, кут природного укусу, критична швидкість взяті з вищенаведених джерел.

3.2 Обладнання та матеріали, використані в дослідах

Вивчивши питання подрібнення шляхом різання матеріалу і провівши аналіз існуючих машин, було спроектовано та виготовлено пристрій для подрібнення зерна.

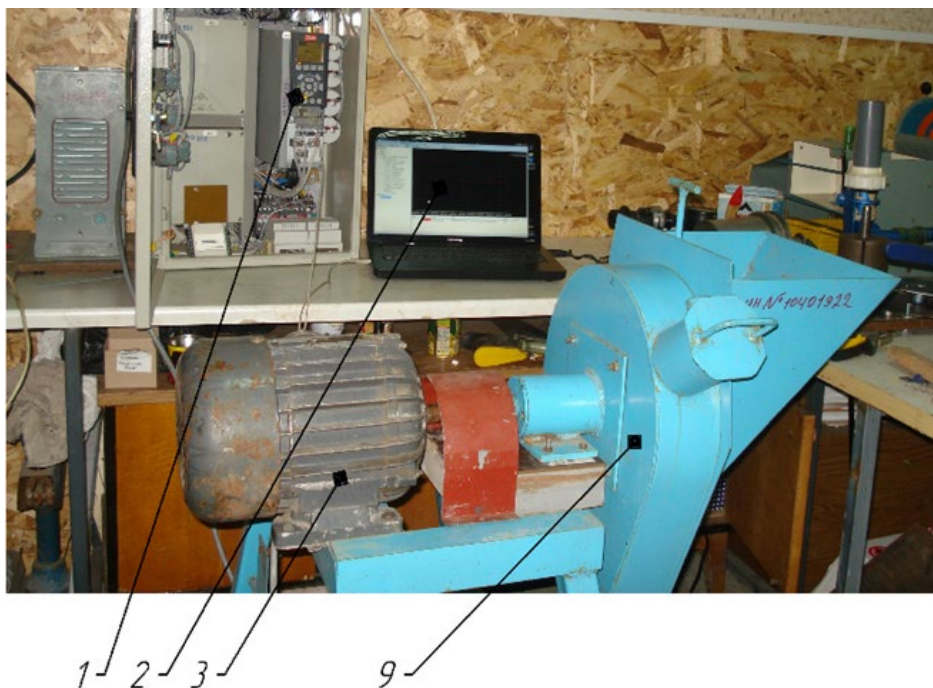


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд експериментального стану

Даний подрібнювач застосували для перевірки і підтвердження теоретичних залежностей, наведених у другому розділі, а також подальшого вивчення процесу подрібнення фуражного зерна.

До даної установці був виготовлено три комплекти робочих органів - ножів:

1. без заточування;
2. кут заточки дорівнює 60° ;
3. кут заточки дорівнює 30° .

Працює пристрій за способом поділу зерна на окремі частини внаслідок удару, зламу і стирання між робочими органами подрібнювача. Крупність подрібнення задається діаметром отворів штампованого сита.



а



б

Рисунок 3.2 – Розроблені ножі (а), ножі в робочому положенні в подрібнювачі (б)

При визначенні енергії, потрібної для подрібнення зерна експериментальною установкою, використовували лічильник типу H_{ac3} . Електролічильник H_{ac3} призначений для обліку електричної енергії в трьох

провідних ланцюгах трифазного струму з номінальною частотою 50 Гц, розрахований на експлуатації при температурі навколишнього повітря від 0 ° до 40 ° С і відносної вологості 80%. Клас точності лічильника - 2,5, чутливість 7%. Ізоляція між усіма обмотками лічильника і металевими частинами корпусу випробувана пробою напруги 2 кВ змінного струму частотою 50 Гц. Споживана потужність паралельної обмотки кожного елемента при нерухомому диску і відсутності в послідовній обмотці струму не перевищує 1,5 кВ.

Для вимірювання потужності, струму і напруги використовували наступні прилади. DT9208A по ГОСТ 8476-60 для вимірювання потужності, розрахований на нормальний діапазон частот 45-65 Гц і розширений діапазон 65-500 Гц (для 150-600В), амперметр Э 59 для вимірювання струму, розрахований на нормальний діапазон частот 45 - 55 Гц і розширену 55 -500 Гц і вольтметр для вимірювання напруги, клас точності 0,5.

Основна похибка приладів в нормальній області частот від 45 до 65 Гц при вимірюванні струмів до 10 А, напруги від 75 до 600В і потужностей відповідних зазначеним величинам струмів і напруг, не перевищує $\pm 0,5\%$ від кінцевого значення робочої частини шкали.

Час досвіду замірявся за допомогою секундоміра С-11-16. Зважування проб проводили на вагах типу ВТА-60/15-7. Відносна помилка зважування з точністю до 0,005 кг.

3.3 Методика проведення лабораторних дослідів

Основні показники що характеризують процес подрібнення є продуктивність, витрати енергії і якість одержуваного продукту. Ці показники в результаті визначають досконалість конструкції самого подрібнювача.

Під продуктивністю слід розуміти здатність подрібнювача переробляти певну кількість продукту до заданої дисперсності в одиницю часу.

Повна витрата потужності складе:

$$N = (1,15 - 1,2) * N_{\text{подр}} \quad (3.1)$$

Для виміру енергії що підводиться до експериментальної установки використовували вимірювальні прилади, (рисунок 3.5). При визначенні потужності, що витрачається безпосередньо на привід установки, враховувався коефіцієнт корисної дії електродвигуна.

Потужність, що витрачається на привід ротора подрібнювача, визначалась за формулою:

$$N = \frac{3600 * (n_2 - n_1) * C * K_t * \eta}{t} \quad (3.2)$$

де N- потужність, що витрачається на привід ротора, кВт;

$n_2 - n_1$ - показники лічильника відповідно на початку і в кінці виміру;

C- постійна лічильника (ціна поділки), C = 0,001 кВт;

K, - коефіцієнт трансформації, K, = 20;

η - коефіцієнт корисної дії електродвигуна від величини потужності що підводиться.

Продуктивність подрібнювача визначали в період сталого режиму роботи в робочій камері. Сталий режим роботи - це такий режим, коли кількість надходження в робочу камеру продукту дорівнює виділеній кількості готового продукту.

Величина секундної продуктивності подрібнювача визначалась методом відбору проб на виході подрібнюемого продукту з робочої камери за певний час. Тривалість дослідів, в залежності від ступеня подрібнення коливалася від 10 до 180 секунд.

Годинну продуктивність подрібнювача визначали по наступній формулі:

$$Q = \frac{q}{t}, \quad (3.3)$$

де q - кількість готового продукту, що вийшов з робочої камери подрібнювача за час t , кг;

t - проміжок часу, протягом якого з робочої камери в контрольну тару надходив продукт, с.

Конструкція подрібнювача зерна дозволяла проводити відбір проб в сталий період роботи протягом будь-якого проміжку часу і в необхідному для точності кількості.

Зважування проб виробляли на вагах ВТА-60/15-7з точністю до 0,005 кг. Відносна похибка зважування була в межах 0,2 ... 0,33%.

Для порівняльної оцінки проекрованої установки і вибору оптимальних режимів роботи значення має техніко-економічна характеристика машини. З цією метою визначаємо показники, які можуть бути використані для загальної оцінки конструкції.

Енергоємність E_n (Вт/кг) процесу з урахуванням досягнутого ступеня подрібнення, виражається формулою:

$$E_n = \frac{N_{\text{подр}}}{Q * \lambda} \quad (3.4)$$

де $N_{\text{подр}}$ - потужність, що витрачається на подрібнення матеріалу (з врахуванням втрат холостого ходу), Вт;

Q - продуктивність, кг/с;

λ - ступінь, подрібнення.

Питома витрата енергії W (Дж / кг) показує, наскільки повно використовується потужність встановленого двигуна і визначається за формулою:

$$W = \frac{N_{\text{під}}}{q}, \quad (3.5)$$

де $N_{\text{під}}$ – приєднана потужність, Вт;

q – продуктивність подрібнювача; кг / с.

Загальна ефективність E (кг/Дж) роботи подрібнювача оцінюється величиною питомої продуктивності, що представляє кількість готового продукту, одержуваного з одиниці встановленої потужності, визначається за формуло

$$E = \frac{q}{N_{\text{під}}}. \quad (3.6)$$

Таким чином, питома продуктивність є зворотною величиною питомої енергоємності.

Відносна механічна ефективність E_m (кг/Вт-с) різних режимів подрібнення або типів установок є питома продуктивність подрібнювача при даному ступеню подрібнення і визначається за формулою:

$$E_m = \frac{q}{N_{\text{під}}}. \quad (3.7)$$

Якість подрібнення готового продукту характеризується ступенем подрібнення, який описується наступним виразом:

$$\lambda_{\text{сер}} = \frac{D_{\text{сер}}}{d_{\text{сер}}}, \quad (3.8)$$

де $D_{\text{сер}}$ - середньозважений розмір частинок до подрібнення;

$d_{\text{сер}}$ - середньозважений розмір після подрібнення.

Обчислення ступеня подрібнення пов'язано з визначенням середніх лінійних розмірів частинок. Безпосереднє вимірювання розмірів частинок складні, але існують кілька методів визначення ступеня подрібнення матеріалу, які можна розділити на дві групи:

- 1) непрямі,
- 2) безпосередні.

За допомогою способів першої групи можна визначити лінійні розміри частинок і закономірності їх розподілу в подрібненому продукті. До них відносяться:

- спосіб ситового аналізу;
- седиментаційних способів;
- мікроскопічний спосіб і т.п.

Способи другої групи дають можливість безпосередньо визначити сумарну поверхню або сумарний обсяг подрібненого продукту. До цієї групи належать методи, засновані на реакції хімічного розчинення, фізико-механічних явищах адсорбції, гігроскопічності, деяких фізичних властивостях твердих тіл.

Для визначення ступеня подрібнення продуктів органічного походження, в тому числі і фуражного зерна, найбільш прийнятні способи першої групи. Вибір методу визначається специфікою проведених досліджень і ступенем потрібної точності.

Однак кожен метод визначення якості подрібненого продукту повинен відповідати наступним вимогам:

- а) спосіб повинен бути універсальним;
- б) час, що витрачається на виконання замірів, має бути незначним;
- в) отримані дані повинні бути об'єктивними і не повинні залежати від індивідуальних властивостей виконавця;
- г) похибки при вимірюванні повинні бути мінімальними.

Розгляд і порівняння всіх способів першої групи вказує на переваги ситового аналізу. Цей спосіб повністю відповідає всім вимогам, перевірений практикою досліджень і прийнятий в сільськогосподарському виробництві і комбікормової промисловості. Цей метод розробив Макаров І.В. на основі системи модуля, запропонований Вісконським університетом США. Суть цього методу полягає в тому, що навішування подрібненого продукту

масою 100 г, 200 г, 300 г просіваються протягом 1 хвилини через набір сит встановлюють зверху вниз від великих отворів до дрібних з діаметром отворів 4, 3, 2,5, 2, 1, 0,5 і 1 мм. Прохід з останнього сита збирається на піддоні. Модуль помелу за такою формулою:

$$M = \frac{3,5 * m_1 + 2,5 * m_2 + 1,5 * m_3 + 0,5 * m_4}{100}$$

де m_1, m_2, m_3 - масові залишки на ситах з діаметром отворів 4, 3 і 2 мм, г;
 m_4 - маса залишку на збірному дні, м.

Прийнята в дослідях методика відрізнялася від стандартної для збільшення точності одержуваних розмірів величиною аналізованої подачі. Подача готового продукту відміряла масою 1,2 ... 1,5 кг.

3.4 Планування експерименту

На основі теоретичних досліджень, було вибрано 3 фактори, які найбільш значимо впливають на перебіг процесу подрібнення:

1. Подача матеріалу в дробарку Q , т/год.
2. Кут загострення ножа α , град.
3. Діаметр решіт D , мм.

Рівні варіювання факторів і їх кодовані позначення представлені в таблиці 3.2.

На основі попередніх досліджень і аналізу літературних джерел зроблено висновок, що в прийнятому факторному просторі бажані функції відгуку можуть бути описані поліноміальними рівняннями другого порядку.

Для експериментальних випробувань використовували методика планування експерименту з застосуванням плану Бокса-Бенкена.

Значення інших факторів були прийняті постійними, згідно попередньо проведеними теоретичними дослідженнями і протягом всього експерименту не змінювалися.

Таблиця 3.2 - Рівні варіювання факторів

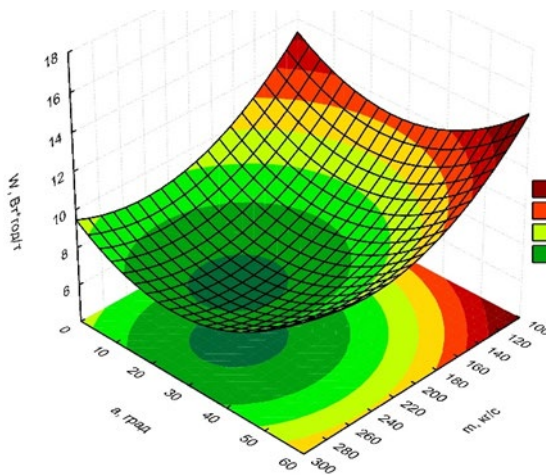
Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
Подача матеріалу в дробарку Q, кг/год.	X ₁	43	100	200	300
Діаметр решіт D, мм.	X ₂	0,3	2	3	4
Кут загострення ножа α, град.	X ₃	35	0	30	60

3.5 Результати експериментальних досліджень

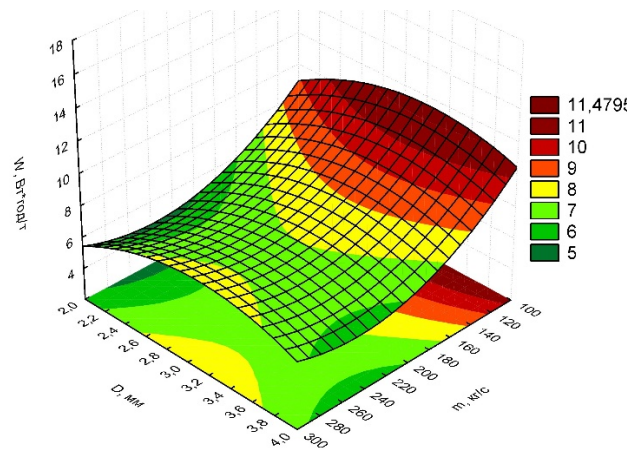
Проведемо дослідження впливу змінних факторів на питому енергоємність процесу подрібнення для ячменю. В ході експерименту отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на питому енергоємність процесу подрібнення:

$$W = -0.00000029 * x^4 + 0.000125 * x^3 - 0.00572 * x^2 - 1.216 * x + 0.0000674 * y^4 + 0.00772 * y^3 + 0.27 * y^2 - 3.638 * y + 397.3$$

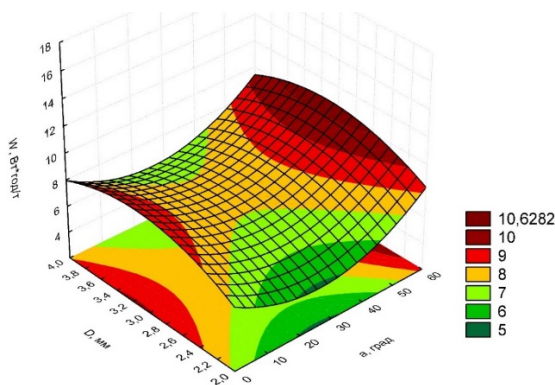
Якщо представити отриману залежність в графічному вигляді, отримаємо поверхні відгуку представлену на рис. 3.4.



а



б



в

Рисунок 3.4 – Залежність питомої енергоємності від: а – подачі зерна та кута загострення ножа; б – діаметра отворів решіт та подачі зерна; в – діаметра отворів решіт та кута загострення ножа.

З аналізу рис. 3.4 можна стверджувати, що зі збільшенням подачі до 250 кг/год мінімального значення 5,5 кВт·год/т. збільшення діаметру решіт також позитивно впливає на енергоємність. Оптимальний кут загострення ножа становить 30 град. Збільшення або зменшення кута загострення призводить до збільшення енергоємності процесу.

Проведемо дослідження впливу змінних факторів на питому енергоємність процесу подрібнення для пшениці. В ході експерименту отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на питому енергоємність процесу подрібнення:

$$W = -0.000241 + x^3 - 0.0115 + x^2 - 0.419 * x - 0.00014 * y^3 + 0.0539 * y^2 - 3.459 * y + 288.68$$

Якщо представити отриману залежність в графічному вигляді, отримаємо поверхні відгуку представлену на рис. 3.5.

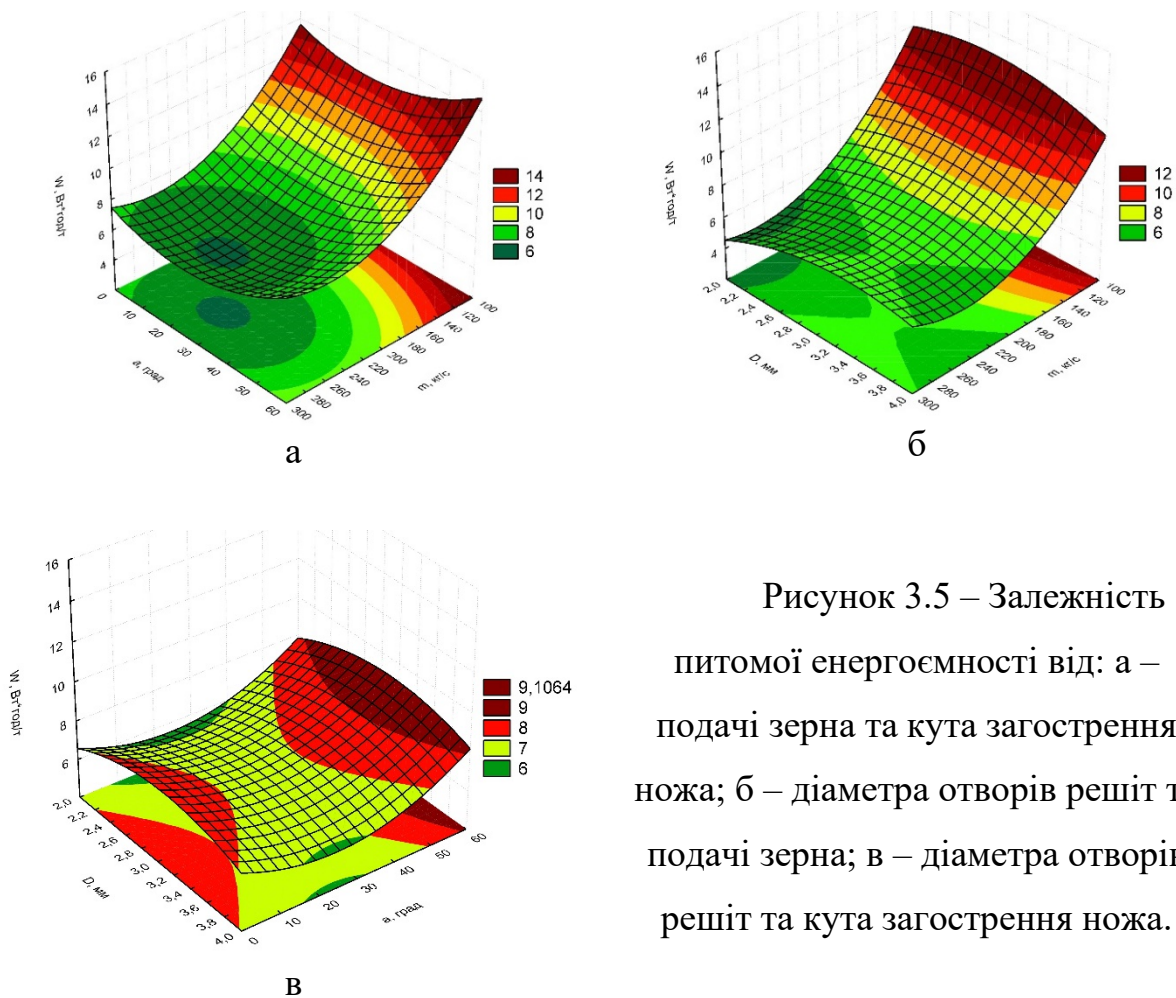


Рисунок 3.5 – Залежність питомої енергоємності від: а – подачі зерна та кута загострення ножа; б – діаметра отворів решіт та подачі зерна; в – діаметра отворів решіт та кута загострення ножа.

З аналізу рис. 3.5 можна бачимо, що залежність зберіглась, зі збільшенням подачі до 250 кг/год мінімального значення 7,5 кВт·год/т. збільшення діаметру решіт також позитивно впливає на енергоємність. Оптимальний кут загострення ножа становить 30 град. Збільшення або зменшення кута загострення призводить до збільшення енергоємності процесу.

3.6 Висновки

На основі результатів експериментальних досліджень для пшениці та ячменю, можна стверджувати, що зі збільшенням подачі до 250 кг/год

мінімального значення 5,5 та 7,5 кВт·год/т відповідно, збільшення діаметру решіт також позитивно впливає на енергоємність. Оптимальний кут загострення ножа становить 30 град. Збільшення або зменшення кута загострення призводить до збільшення енергоємності процесу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні вимоги з охорони праці при подрібненні кормів

Загальні вимоги з охорони праці при подрібненні кормів базуються на необхідності забезпечення безпеки працівників, дотримання санітарно-гігієнічних норм та захисту навколишнього середовища. Згідно із законодавством України, основними нормативними документами, що регулюють ці аспекти, є Закон України "Про охорону праці", Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", а також підзаконні акти, зокрема правила безпеки для агропромислового комплексу.

На рівні Європейського Союзу відповідні вимоги викладено в Директиві Ради 89/391/ЄЕС про заходи щодо покращення безпеки та охорони здоров'я працівників на робочому місці, Директиві 2006/42/ЄС щодо безпеки машин, а також Регламенті (ЄС) № 852/2004 про гігієну продуктів харчування.

Працівники, залучені до процесу подрібнення кормів, повинні проходити обов'язкове навчання з безпеки праці та регулярні інструктажі. Роботодавець зобов'язаний забезпечити використання сертифікованого обладнання, яке відповідає вимогам технічних регламентів, зокрема стандартам безпеки, встановленим ЄС. Устаткування має бути оснащено захисними кожухами, автоматичними системами зупинки у разі аварійної ситуації та засобами захисту від пилу.

Особлива увага приділяється забезпеченню засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): захисні окуляри, респіратори, рукавички та спецодяг мають використовуватися для запобігання травмам і впливу шкідливих речовин. У приміщеннях для подрібнення кормів необхідно встановити ефективні системи вентиляції для зменшення концентрації пилу, що відповідає санітарним нормам і правилам, визначеним законодавством України та ЄС.

Також слід враховувати екологічні вимоги, спрямовані на зниження впливу виробничої діяльності на довкілля. Це включає контроль рівня шуму, вібрацій, а також правильне поводження з відходами, які утворюються під час процесу подрібнення кормів. Відповідно до європейських норм, особлива увага приділяється замкненим технологічним процесам та впровадженню енергоефективних рішень.

Роботодавці повинні проводити регулярні аудити охорони праці та оцінки ризиків відповідно до стандартів ISO 45001 та інших застосовних норм. Виконання цих вимог забезпечує безпечні умови роботи, збереження здоров'я працівників і відповідність підприємств нормам національного та міжнародного законодавства.

4.2 Проєкт інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачем концентрованих кормів

1. Загальні положення

1.1. Інструкція розроблена відповідно до Закону України "Про охорону праці", "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", а також Директиви Ради 89/391/ЄЕС про покращення безпеки на робочих місцях.

1.2. Інструкція визначає основні вимоги безпеки під час роботи з подрібнювачем концентрованих кормів.

1.3. До роботи допускаються працівники, які пройшли інструктаж з охорони праці, навчання безпечним методам роботи, медичний огляд та мають відповідну кваліфікацію.

1.4. Працівники повинні дотримуватися вимог даної інструкції, використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) і стежити за технічним станом обладнання.

2. Вимоги перед початком роботи

2.1. Перевірити справність подрібнювача, особливо наявність та стан захисних кожухів, кріплень і систем зупинки.

2.2. Переконатися у відсутності сторонніх предметів у робочій зоні подрібнювача.

2.3. Підготувати засоби індивідуального захисту: рукавички, захисні окуляри або маску, респіратор, спецодяг.

2.4. Упевнитися у справності вентиляційної системи та освітлення в робочій зоні.

2.5. Оглянути електричний кабель подрібнювача та переконатися у відсутності пошкоджень.

3. Вимоги під час роботи

3.1. Не допускається працювати без ЗІЗ та залишати працюючий подрібнювач без нагляду.

3.2. Забороняється виконувати ручне завантаження матеріалів без використання спеціальних пристроїв.

3.3. Забезпечити рівномірне завантаження корму, щоб уникнути перевантаження обладнання.

3.4. У разі появи сторонніх звуків, вібрацій або інших несправностей, негайно зупинити роботу та повідомити керівника.

3.5. Заборонено проводити ремонт або очищення подрібнювача під час його роботи.

4. Вимоги після закінчення роботи

4.1. Вимкнути подрібнювач від мережі електроживлення.

4.2. Очистити обладнання від залишків корму, дотримуючись правил безпеки.

4.3. Провести огляд подрібнювача для виявлення можливих пошкоджень.

4.4. Здати інструменти та обладнання у відведене для цього місце.

4.5. Зняти засоби індивідуального захисту та перевірити їхній стан.

5. Відповідальність за порушення інструкції

5.1. Працівники, які порушили вимоги цієї інструкції, несуть відповідальність згідно з законодавством України.

5.2. У разі виникнення аварійних ситуацій або травмування працівників необхідно негайно повідомити керівника та надати першу допомогу.

6. Додаткові положення

6.1. Інструкція підлягає перегляду не рідше ніж раз на три роки або у разі змін у законодавстві чи умовах роботи.

6.2. Копія інструкції повинна бути доступною для кожного працівника на робочому місці.

4.3 Порядок дій під час артобстрілу

Зберігайте спокій і дійте швидко. У разі отримання сигналу про артилерійський обстріл або початку вибухів не панікуйте. Оцініть ситуацію та негайно переходьте до дій для забезпечення своєї безпеки.

Шукайте укриття. Найбезпечніше місце – спеціально обладнане бомбосховище, підвал або укриття. Якщо поруч немає укриття, знайдіть заглиблення в землі (яма, рів, кювет) або укрийтеся біля масивної бетонної конструкції. У міській забудові можна використовувати сходові клітини або внутрішні кімнати без вікон, бажано на нижніх поверхах. Якщо укриття недоступне, використовуйте техніку "плоский профіль". Лягайте на землю обличчям вниз, руки схрестіть перед обличчям. Ноги тримайте разом, голову накрийте руками або рюкзаком. Не стійте, не ховайтеся за легкими конструкціями, автотранспортом або деревами.

Дотримуйтесь правил поведінки під час обстрілу. Не бігайте та не переміщуйтесь, якщо вибухи вже почались. Осколки мають високу швидкість, і рух збільшує ризик ураження. Уникайте скляних поверхонь та вікон, оскільки вони можуть розлетітися від вибухової хвилі. Чекайте закінчення обстрілу в безпечному положенні.

Після закінчення обстрілу. Не залишайте укриття одразу. Почекайте 5-10 хвилин, оскільки можливий повторний обстріл. Переконайтеся у відсутності вибухонебезпечних предметів (снарядів, уламків). Не чіпайте їх! Повідомте про знайдені предмети рятувальним службам. Якщо є поранені, надайте їм першу допомогу або викличте медиків.

Додаткові рекомендації. Завжди майте при собі екстрений рюкзак із документами, водою, аптечкою, ліхтариком та засобами зв'язку. Попередньо вивчіть розташування найближчих укриттів та шляхів до них. Уникайте масового скупчення людей, яке може стати мішенню для атак.

Дотримання цих правил значно підвищує шанси на виживання під час артилерійського обстрілу. Безпека залежить від вашої готовності та правильності дій у критичній ситуації.

4.4 Висновки

У розділі наведено основні вимоги та рекомендації з охорони праці під час роботи з подрібнювачем концентрованих кормів, а також дії у разі артилерійського обстрілу. Забезпечення безпеки працівників та дотримання санітарно-гігієнічних норм є основними аспектами організації роботи.

Вимоги до безпеки включають використання сертифікованого обладнання, засобів індивідуального захисту, належну підготовку персоналу, регулярний контроль технічного стану устаткування та дотримання екологічних стандартів.

Порядок дій під час артобстрілу передбачає швидке реагування, правильний вибір укриття, дотримання правил поведінки під час небезпеки та надання допомоги після завершення обстрілу.

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

5.1 Вихідні дані

У даному розділі визначається передбачувана економічна ефективність застосування розробленої дробарки кормів. Найближчій за характеристиками (а саме за продуктивністю 97 %) з серійно випускаємих є дробарка КР-2501, що і була узята для порівняння. Порівняння економічних показників розробленої та наведеної дробарок проведемо за питомими експлуатаційними витратами, П, грн./т., без прив'язки до конкретних об'ємів змішування. Розрахунки будемо проводити для однозмінної роботи. Вихідні дані для розрахунку зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до розрахунку техніко економічних показників

Показник	Варіанти	
	КР-2501	розроблений змішувач
Продуктивність, т/год.	0,18	0,185
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Тривалість зміни, год.	8	8
Строк служби, років	10	10
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,15	0,15
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,12	0,12
Балансова вартість, грн.	2058	3594
Капітальні вкладення, грн.	-	1536

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівняння базового та удосконаленого подрібнювачів кормів буде здійснюватися на основі питомих експлуатаційних витрат. До складу цих витрат входять витрати на оплату праці, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування. Розрахунок зазначених показників виконуватиметься згідно з методиками та рекомендаціями, викладеними у джерелі [47].

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності
розробленого подрібнювача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	КР-2501 (базовий)	розроблений змішувач	
Продуктивність, т/год.	0,18	0,185	102,8
Встановлена потужність, кВт	3	2,2	73,3
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100,0
Балансова вартість, грн.	12600	-	-
Капітальні вкладення, грн.	-	2350	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	325,33	302,85	93,1
в т.ч.: оплата праці	278,89	271,35	97,3
енергоресурси	43,33	30,92	71,4
амортизація	1,73	0,32	18,7
ТО та ремонт	1,38	0,26	18,7
Максимальне річне навантаження, т	-	100	-
Економія питомих експлуатаційних	-	22,48	-
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	2247,9	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,0	-

5.3 Висновки

Техніко-економічний аналіз експериментальної дробарки показав її переваги над базовою моделлю КР-2501 за показниками експлуатаційних витрат. При повному завантаженні (100 %) термін окупності становитиме 1 рік. Для досягнення окупності мінімальний рівень завантаження розробленого змішувача повинен становити 59,6 %.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих наукових досліджень в області подрібнення зерна показав, що зниження енерговитрат можна забезпечити шляхом зміни конструктивно-режимних параметрів робочих органів (ножів) поєднують в собі ударний ефект молотка і різання ковзання.

2. Запропонований оптимальний кут заточування робочих органів (ножів) $\alpha = 30^\circ$, дозволяє знизити енерговитрати на процес подрібнення.

3. Форма робочих органів (ножів) виконаних у вигляді верзиери, їх конструктивні та геометричні параметри дозволили не тільки знизити енергоємність процесу, але і поліпшити рівномірність гранулометричного складу подрібненого продукту. Кількість пилоподібної фракції зменшилася на 5,7%.

4. Запропонована залежність енергоємності процесу подрібнення від геометричних параметрів робочих органів (ножів) дозволяє оцінити рівень зміни енерговитрат в інтервалі з 11% до 15% рівномірність гранулометричного складу варіюється в інтервалі від 3% до 8,2%.

5. Проведені техніко-економічні розрахунки дозволили отримати річний економічний ефект 2247,9 грн, термін окупності становить 1,0 року.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів/Б.В. Єгоров.–Одеса.: Друкарський дім, 2011.– 448 с.
2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
3. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] / І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
4. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
5. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
6. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.
7. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

8. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка // *Materialy XV Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019»*, Volume 10 *Przemysł: Nauka i studia* – 36-39 s.
9. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // *Materialy XV Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019»*, Volume 10 *Przemysł: Nauka i studia* -33-35 s.
10. Suhadi, W. Die Sacke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. // *Maschinenbautechnik* –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)
11. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.
12. Lacey. P.M. Development in the Theory of Particfl mixing. *J. Appl. Chem.* 1954, №4, – P. 257
13. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / *Ziegelindustrie International*. Wiesbaden: Dauerlag
14. http://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%91%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B5%D1%82_%D0%9C%D0%9A%D0%A3.pdf
15. https://downloads.skiold.dk/downloads/leaflets/engelsk/disc-mill_gb.pdf
16. <https://downloads.skiold.dk/downloads/feed/psheet/130986003949.pdf>
17. <https://agrostory.com/ua/info-centre/agronomists/mobilnyy-kombikormovyy-zavod-i-perspektivy-ego-ispolzovaniya/>
18. <https://propozitsiya.com/ua/kombikorm-na-kolesah>
19. <https://riela.com.ua/peresuvna-ustanovka-kombikormiv/>
20. Magnus, K. Schwingungen: Eine Einführung in die physikalischen Grundlagen und die theoretische Behandlung von Schwingungsproblemen [Text] / Kurt Magnus. - Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH, 2008. – 74p.
21. Parkinson, A.G. Vibration and balancing of rotating continuous shafts [Text]/A.G. Parkinson, R.E.B. Bishop // *Proc. IMechE, Part C: J. Mechanical Engineering Science.* – 1961. – No.3. – P. 200-213.

22. Баранецька О.Р. Вібраційне змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / О.Р. Баранецька // Машинознавство. – 2000. – № 3 (33). – С. 60–63.
23. Афтаназів, І.С. Вибір технології і обладнання для змішування сумішей сипучих матеріалів [Текст] / І.С.Афтаназів, О.Р.Баранецька, О.М. Сімчук// Машинознавство. – 1999. – № 5 (23). – С. 55–62.
24. Берник, М.П. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача [Текст] / М.П. Берник, О.В. Цуркан, Л.Д. Величко // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – № 2(18). – С. 3–7.
25. Sarang O. Effects of powder cohesion and segregation on pharmaceutical mixing and granulation: dissertation doctor of philosophy: 05.2003/ O.Sarang // USA: New Jersey. – 2016. – P.1-8 (140).
26. Берник М.П., Цуркан О.В. Обґрунтування технологічних та конструктивних схем енергозберігаючих віброзмішувачів барабанного типу // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №1 (17). – С. 34–37.
27. Цуркан О.В., Величко Л.Д. Віброімпульсний привод нового вібраційного змішувача // Вибрации в технике и технологиях. – 2001. – №2 (18). – С. 3–7.
28. Берник П.С., Берник М.П., Цуркан О.В. Енергозберігаючі змішувачі для приготування сипучих кормів // Техніка АПК. – 2003. – №8. – С. 16–18.
29. Регресійний аналіз [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://libfree.com/114811945_ekonomikaregresiyuy_analiz.html- Назва з екрану.
30. Рогатинський Р.М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва: Дис.- докт. техн. наук: 05.20.01. - К., 1997.- 425 с.
31. Гевко І.Б., Гурик О.Я. Дослідження конструкторсько-технологічних параметрів зони переважання гвинтових транспортно-технологічних систем. Збірник наукових праць Національного аграрного університету "Механізація сільськогосподарського виробництва". - Том VII. - К.: Видавництво НАУ. - 2000. - с. 184-190.

32. Григор'єв А.М., Преображенський П.А. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні. К.: Наукова думка, - 1967. - 116 с.

33. Радик Д.Л., Гурик О.Я. Дослідження енерговитрат шнекового змішувача. - Тернопіль: Вісник ТДТУ, 2001, Том. 6, №3 - С56-61.

34. Оришка Х.О., Гончаров В., Кравцова Г., Артюхов А.. Процес взаємодії з сипкими матеріалами у постачальному пристрої гравітаційно- роторного типу. Вісник ТДТУ, Т.6., №4., 2001. С. 88-95.

35. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. Навч. посібник. -К.: НМК ВО, 1992. - 320 с.

36. Стадник І.Я. Науково-технічні основи дискретної дії на компоненти при перемішуванні : монографія / І.Я. Стадник. – Тернопіль : ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2015. – 240 с.

37. Strenk F. Mieszanieimieszalniki (Mixing and mixingequipment) / F.Strenk. – Warszawa : Wydawnictwa NaukowoTechniczne, 1971. – 367 p.

38. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : дис ... д.т.н. : 05.18.12 / І.Я. Стадник. – Київ. – 2013. – 487 с.

39. Researching of the concentration distribution of soluble layers when mixed in the weight condition / I.Stadnyk, J.Pankiv, P.Navrylko, H.Karpyk // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. – 2019. – Vol. 13. – № 1. – P. 581–592. DOI: 10.5219/1129. 5

40. Корнієнко Я.М. Процеси переносу в дисперсних системах : навч. посіб. / Я.М. Корнієнко, Р.В. Сачок. – Київ, 2011. – 132 с. 10. Расслоение в псевдоожигеном слое [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://repetitora.com/rassloeniev-psevdoozhizhenom-sloe>.

41. Drobot V.I. Technological calculations in baking production / V.I. Drobot. – Condor, 2010. – 440 p.

42. Закон України «Про охорону праці»

43. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»

44. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»

45. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»

46. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).

47. ДСТУ 4397: 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Обґрунтування конструктивних параметрів молоткового подрібнювача зерна

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІ-1-23
Пранцуз Сергій Вікторович

Керівник: к.т.н., доцент
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро 2024

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета дослідження - обґрунтувати вплив конструктивно-режимних параметрів робочих органів (ножів) кормодробарки на енергоємність процесу подрібнення зернових мас.

У відповідності до поставленої мети було визначено основні **задачі**, що необхідно вирішити:

1. Провести огляд існуючих конструкцій молоткових подрібнювачів та проаналізувати останні наукові дослідження процесів подрібнення зерна;
2. Обґрунтувати оптимальний кут заточування робочих органів (ножів), Обґрунтувати конструкцію подрібнювача зерна, що працює за сукупним принципом удару та різання з ковзанням, що забезпечує зниження енерговитрат.
3. Провести експериментальні дослідження якості подрібнення і ефективності роботи вдосконаленого молотка подрібнювача відповідно до зоотехнічних вимог розміру часток після подрібнення.
4. Провести обстеження розробленого молоткового подрібнювача зерна з точки зору охорони праці.
5. Дати техніко-економічну оцінку подрібнювача з пропонуваними робочими органами (ножами) на процес подрібнення.

Об'єкт дослідження - Технологічний процес подрібнення зерна робочими органами (ножами), виконаних у вигляді візери

Предмет дослідження – закономірності, які пов'язують конструктивні параметри молоткового подрібнювача і кінематичні, енергетичні та якісні показники процесу подрібнення зернових матеріалів.

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЇХ АНАЛІЗ

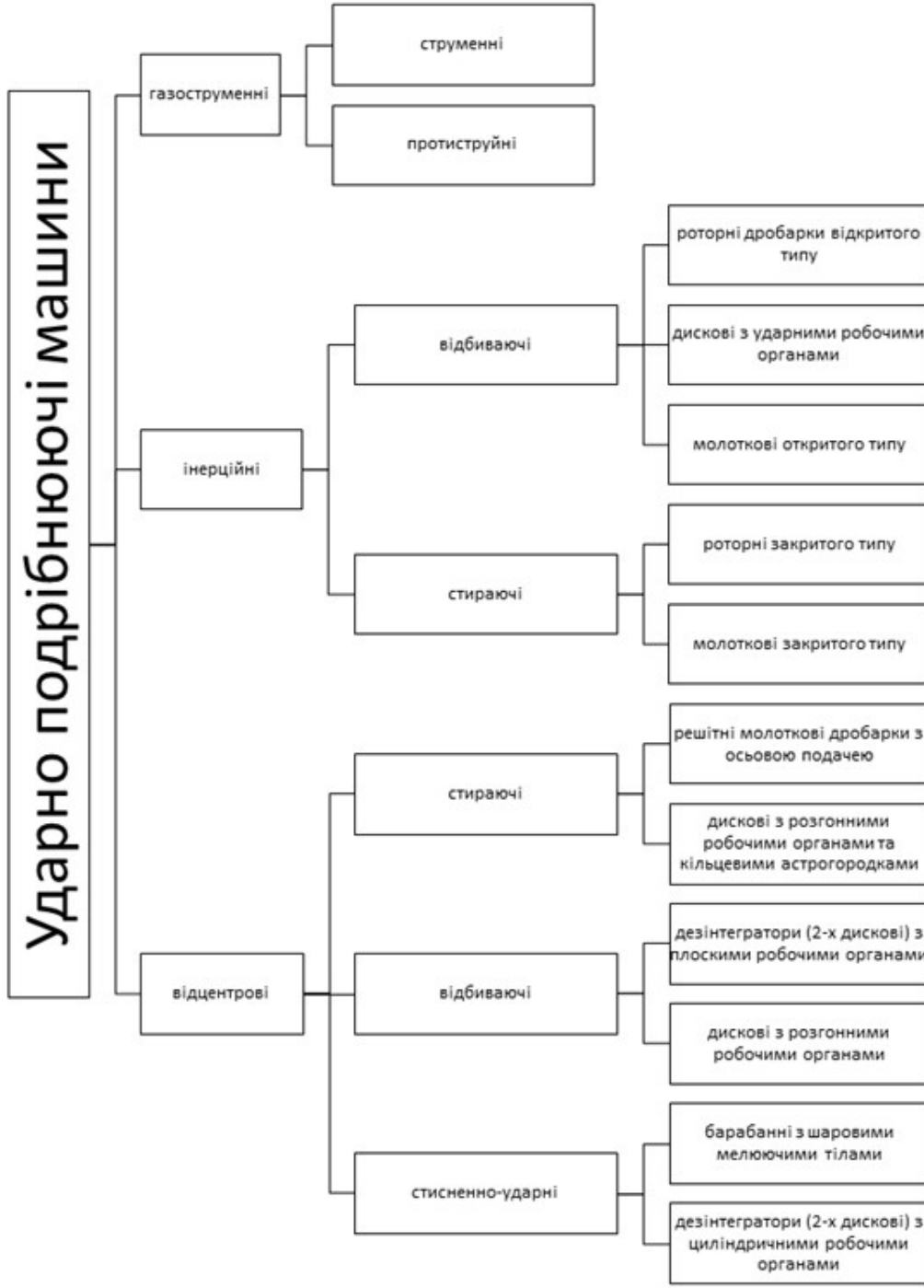


Рисунок 1 - Класифікація за подібністю технологічного процесу подрібнюючих машин ударної дії.

ОГЛЯД ІСНЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЇХ АНАЛІЗ

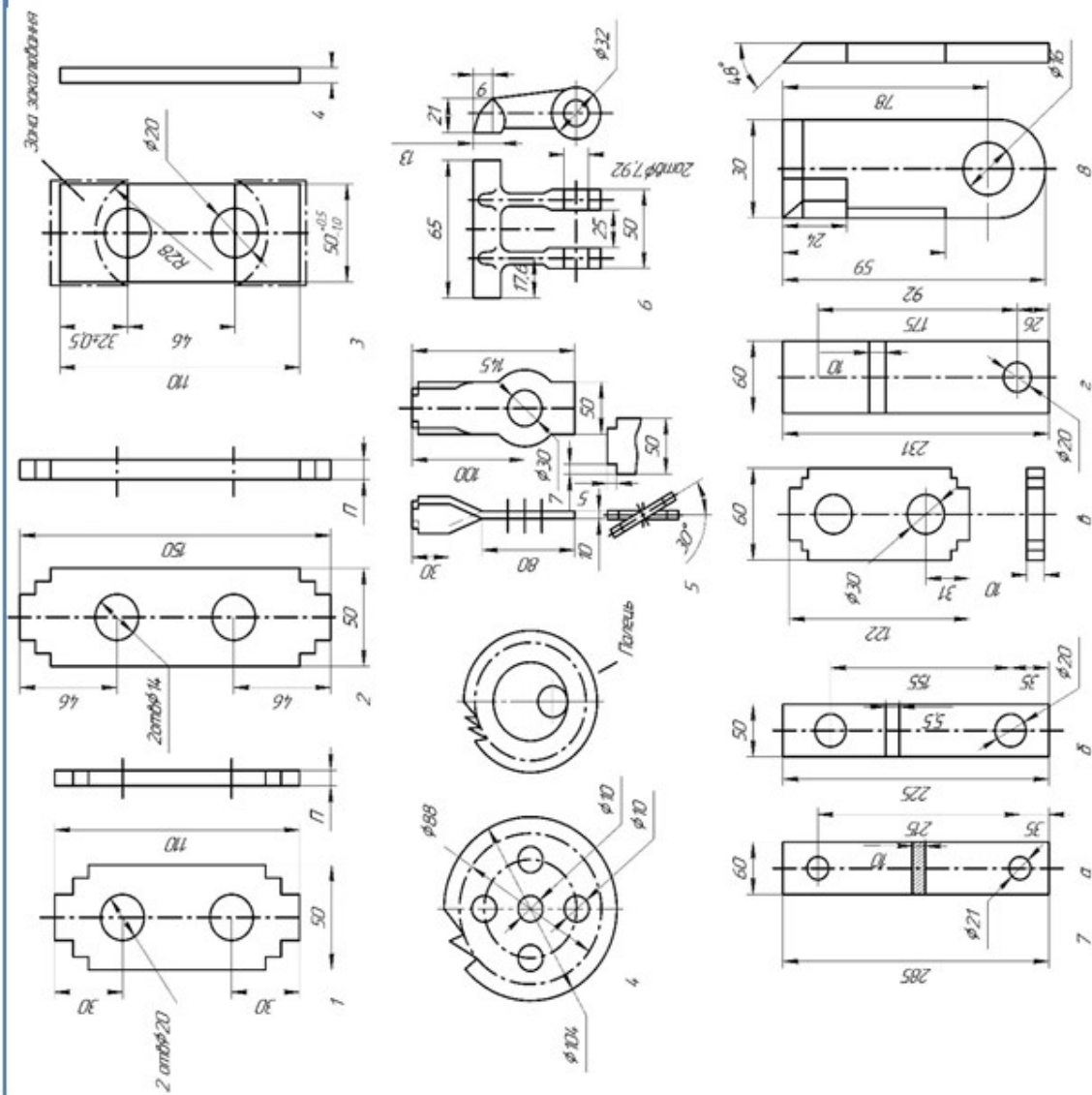


Рисунок 2 - Рисунок 1.3.
конструкції молотків:

- 1 - ступінчасті нормальні,
- 2 - ступінчасті посилені,
- 3 - прямокутні,
- 4 - фігурні типу фрези,
- 5 - об'ємні АПК-10,
- 6 - об'ємні ДДК,
- 7 - плоскі (дробарок агрегатів):

а - АВМ-0,4;

б - АВМ-1,5;

в - ЛКБ-ФЕ;

г - СБ-1,5,

8 - армовані сормайтом.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

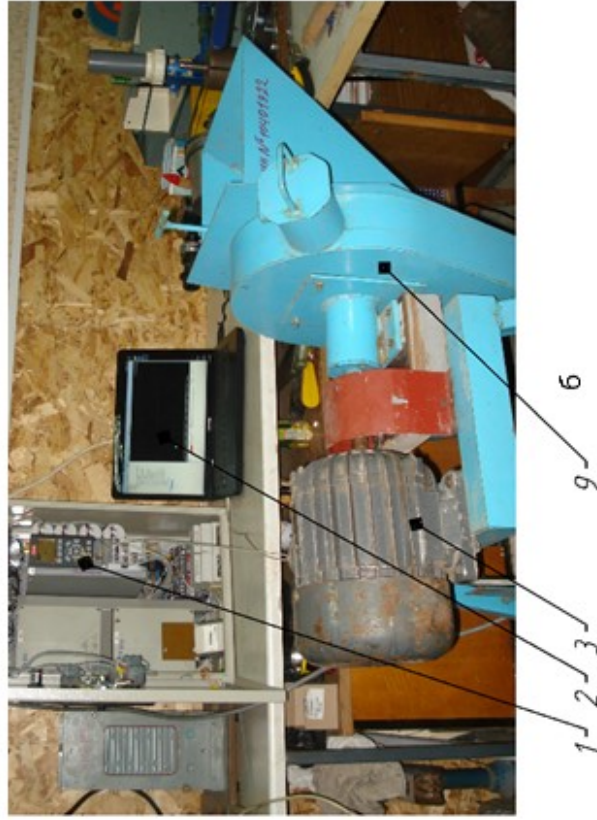
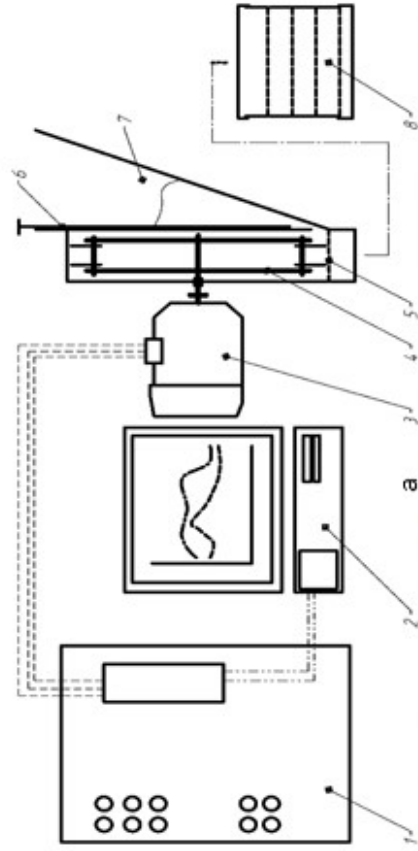


Рисунок 4 – Схема (а) за загальний вигляд (б) експериментального стенду: 1 - частотний перетворювач; 2 - ПЕОМ; 3 - електродвигун; 4 - молотковий ротор; 5 - змінні решета; 6 - регульована заслінка; 7 - бункер; 8 - сигтовий класифікатор; 9 – експериментальна дробарка



а

б

Рисунок 5 – Розроблені ножі (а), ножі в робочому положенні в подрібнювачі (б)

Факторами експерименту були подача матеріалу в дробарку Q (x_1), діаметр решіт D (x_2) і кут загострення ножа α (x_3).

Фактор	Кодоване позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання		
			-1	0	+1
Подача матеріалу в дробарку Q , кг/год.	X_1	43	100	200	300
Діаметр решіт D , мм.	X_2	0,3	2	3	4
Кут загострення ножа α , град.	X_3	35	0	30	60

Критерієм оптимізації було питоме енергоємність процесу подрібнення q , Вт·год/кг

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

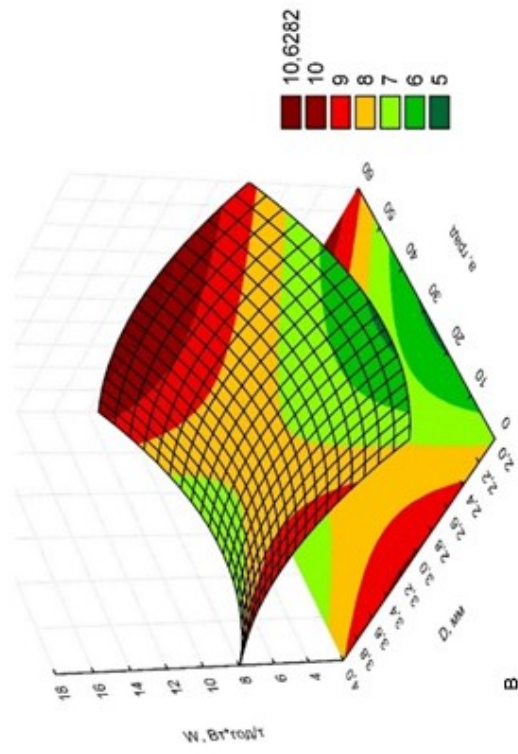
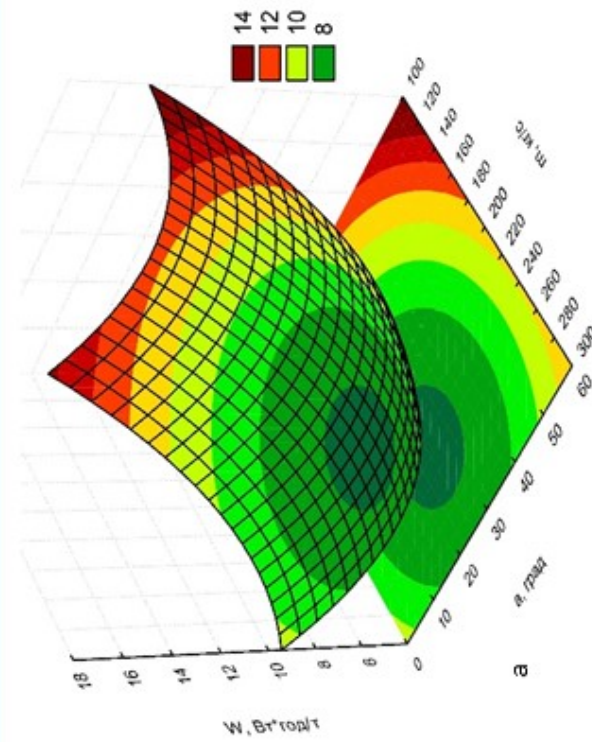
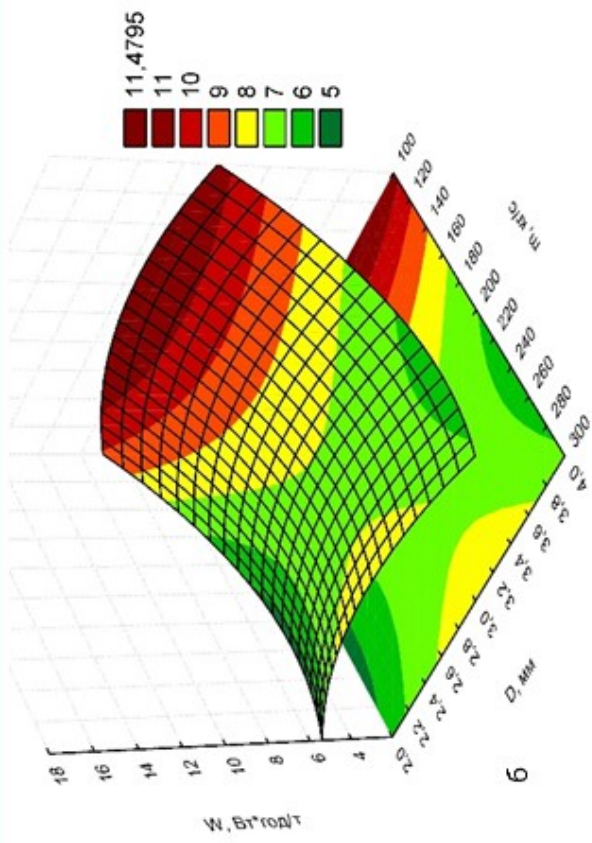


Рисунок 6 - Залежність питомої енергоємності під час подрібнення пшениці від:

а – подачі зерна та кута загострення ножа;

б – діаметра отворів решіт та подачі зерна;

в – діаметра отворів решіт та кута загострення ножа.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

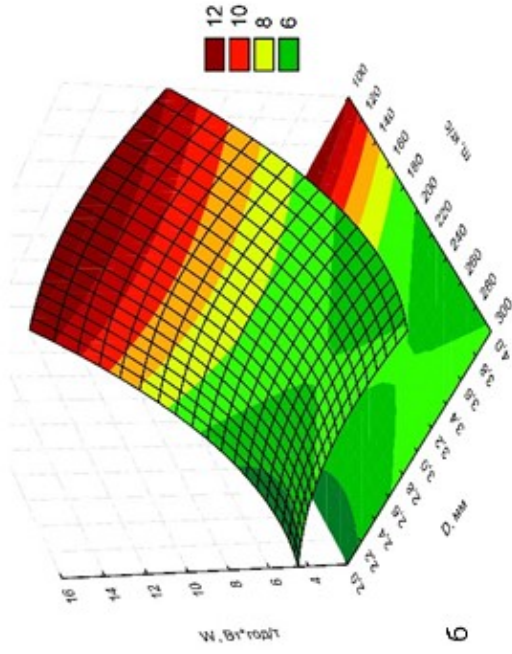
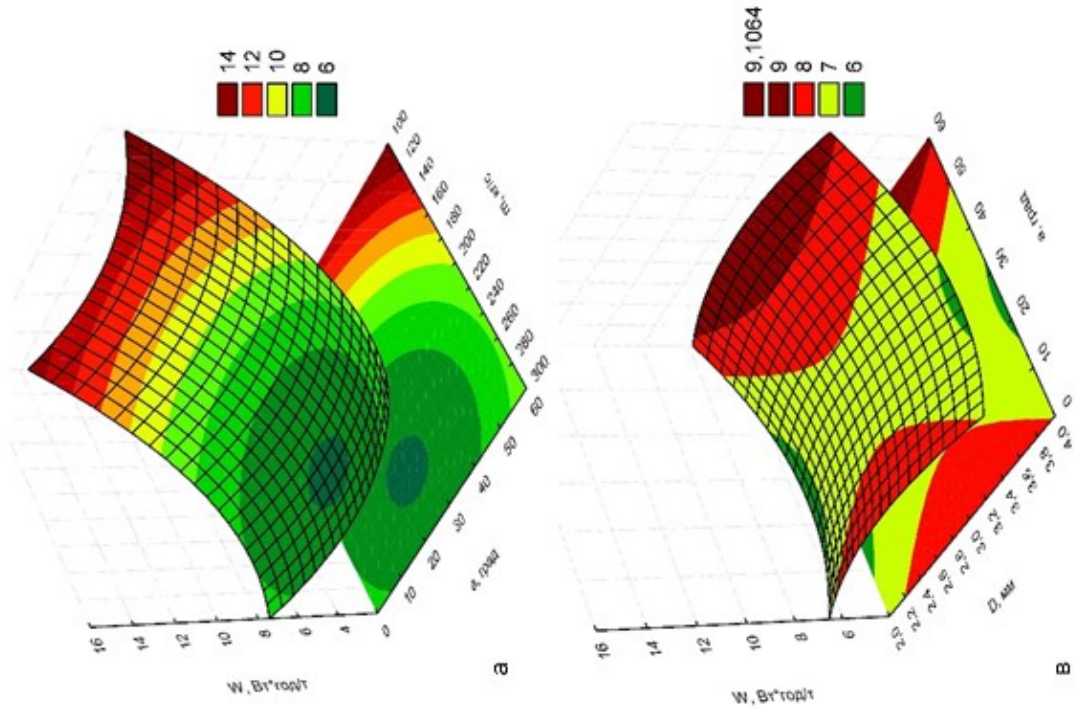


Рисунок 7 - Залежність питомої енергоємності під час подрібнення ячменю від:

а – подачі зерна та кута загострення ножа;

б – діаметра отворів решіт та подачі зерна;

в – діаметра отворів решіт та кута загострення ножа.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПОДРІБНЮВАЧА КОНЦЕНТРОВАНИХ КОРМІВ

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	КР-2501 (базовий)	розроблений змішувач	
Продуктивність, т/год.	0,18	0,185	102,8
Встановлена потужність, кВт	3	2,2	73,3
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100,0
Балансова вартість, грн.	12600	-	-
Капітальні вкладення, грн.	-	2350	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	325,33	302,85	93,1
в т.ч.: заробітна платня	278,89	271,35	97,3
витрати на електроенергію	43,33	30,92	71,4
амортизаційні відрахування	1,73	0,32	18,7
витрати на ТО та ремонт	1,38	0,26	18,7
Максимальне річне навантаження, т	-	100	-
Економія питомих експлуатаційних	-	22,48	-
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	2247,9	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	1,0	-

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих наукових досліджень в області подрібнення зерна показав, що зниження енерговитрат можна забезпечити шляхом зміни конструктивно-режимних параметрів робочих органів (ножів) поєднують в собі ударний ефект молотка і різання ковзання.
2. Запропонований оптимальний кут заточування робочих органів (ножів) за результатами експерименту $\alpha = 30^\circ$, дозволяє знизити енерговитрати на процес подрібнення, а форма робочих органів (ножів) виконаних у вигляді візієри, їх конструктивні та геометричні параметри дозволили не тільки знизити енергоємність процесу на 5%, але і поліпшити рівномірність гранулометричного складу подрібненого продукту. Кількість пилоподібної фракції зменшилася на 5,7%.
3. Розроблена конструкція буде мати оптимальні експлуатаційні характеристики: кут загострення леза 30 градусів; подача сировини 250 кг/год; і діаметр решіт 4 мм.
4. Для розробленого молоткового подрібнювача зернових кормів розраховано захисне заземлення та освітлення робочої зони, приведено порядок дій під час виникнення надзвичайної ситуації в ДДАБУ.
5. Застосування для умов ферми (річний об'єм робіт біля 100 т) експериментального подрібнювача в порівнянні з серійним КР 2501 має переваги завдяки збільшенню продуктивності при тій же потужності. Строк окупності для приведених умов складе 1 рік, завдяки економії експлуатаційних витрат у розмірі 2247,9 грн.