

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

Обґрунтування техніко-технологічних параметрів

обладнання для подрібнення зерна

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Наливайко Мирослава Ярославівна

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

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

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

МВПТ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Наливайко Мирослава Ярославівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування техніко-технологічних параметрів обладнання для подрібнення зерна

:

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«17» листопада 2021 року № 3539

2. Строк подання студентом роботи 07.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Стан питання процесів та обладнання для подрібнення зернових кормів, ефективність подачі та подрібнення. Періодична наукова література, патентні бази даних, нормативні документи щодо сухої годівлі свиней.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд конструкцій подрібнювачів кормів. 2. Теоретичне обґрунтування техніко-технологічних параметрів дробарки. 3. Експериментальні дослідження подрібнювача. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка розробленої дробарки. Загальні висновки. Бібліографічний список

:

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (3 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (3 аркуші, 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	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 10.10.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2021 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2021 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2021 р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2021 р.	
5	Економічний	до 26.11.2021 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2021 р.	

Студент

(підпис)

Наливайко М.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Наливайко М.Я. Обґрунтування техніко-технологічних параметрів обладнання для подрібнення зерна /Випускова кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

Дипломна кваліфікаційна робота складається з п'яти розділів. У першому розділі приведено аналіз пристроїв для подрібнення зерна їх класифікація. У другому розділі теоретично обґрунтовано параметри конструкції дробарки. У третьому розділі викладено результати експериментальних досліджень нового зразка дробарки. Далі проведено розробку заходів з охорони праці. Завершальним етапом була економічна оцінка застосування нової дробарки на малій фермі.

Ключові слова: сипкі корми, дробарка, живильний пристрій, енергоємність

Огляд технічних засобів для подрібнення кормів / Наливайко М.Я.// Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр. наук.-практ. студ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 55-67 с.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Огляд конструкцій подрібнювачів кормів	9
1.1 Аналіз способів і технічних засобів, що застосовуються для подрібнення сільському господарстві	9
1.2 Класифікація молоткових дробарок	14
1.3 Огляд конструкцій молоткових дробарок	16
1.4 Аналіз основних робочих органів молоткових дробарок	24
1.5 Класифікація та аналіз живильних пристроїв сипких матеріалів	26
1.6 Висновки	32
2 Теоретичне обґрунтування техніко-технологічних параметрів дробарки	33
2.1 Обґрунтування перспективної конструктивно-технологічної схеми молоткової дробарки	33
2.2 Теоретичні дослідження робочого процесу живильного пристрою	37
2.2.1 Визначення величини подачі подрібнюваного матеріалу живильним пристроєм	37
2.2.2 Обґрунтування вибору конструкції пристрою живлення	39
2.2.3 Визначення потужності, що витрачається на процес подачі	46
2.3 Теоретичні дослідження процесу подрібнення	47
2.3.1 Теоретичне обґрунтування процесу подрібнення в зоні завантаження	47
2.3.2 Визначення режимних параметрів роботи нової конструкції молотка	50
2.4 Розрахунок потужності, необхідної для процес подрібнення	54
2.5 Висновки	56
3 Експериментальні дослідження подрібнювача	57
3.1 Програма, методи досліджень	57
3.2 Результати дослідження робочого процесу живильного пристрою	59

3.2.1	Вплив частоти обертання пристрою живлення на рівномірність подачі подрібнюваного матеріалу	59
3.2.2	Вплив способу розташування пристрою живлення на ефективність подачі подрібнюваного матеріалу	61
3.3	Результати обґрунтування конструктивно-режимних параметрів роботи молоткового ротора	62
3.3.1	Дослідження впливу форми молотків на продуктивність та енергоємність процесу подрібнення	62
3.3.2	Дослідження впливу колової швидкості молотків на модуль помелу готового продукту	64
3.4	Висновки	64
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	66
4.1	Загальні визначення та поняття	66
4.2	Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при подрібненні зерна	67
4.3	Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	68
4.4	Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна	69
4.5	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	71
4.6	Висновки	72
5	Економічна оцінка розробленої дробарки	73
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	77
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	79
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Однією з основних операцій, що впливають на якість комбікорму та на енерговитрати, необхідні на його виробництво є операція подрібнення зерна. Пошук оптимізації операції подрібнення, як показали дослідження різних вчених, можливий за рахунок застосування найбільш ефективного подрібнювального пристрою.

Найбільш поширеними подрібнюючими машинами сільськогосподарського виробництва є молоткові дробарки. Проте їх конструкція та організація робочого процесу мають ряд недоліків, що веде до зниження продуктивності та значних витрат енергії при подрібненні зерна. Аналіз існуючих подрібнювальних машин показав, що основними машинами для подрібнення різних сільськогосподарських матеріалів є молоткові дробарки. Існуючі в даний час конструкції молоткових дробарок не є досконалими, за рахунок чого знижується їх продуктивність та збільшується енергоємність процесу подрібнення. У зв'язку з цим, підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу подрібнення зерна молотковими дробарками, за рахунок удосконалення їх конструктивно-режимних та технологічних параметрів є актуальним завданням.

Мета дослідження: підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу подрібнення зерна за рахунок модернізації молоткової дробарки.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих сільськогосподарських подрібнювачів машин та розробити конструктивно-технологічну схему нової молоткової дробарки;
2. Теоретично дослідити вплив конструктивно-режимних та технологічних параметрів робочого процесу молоткової дробарки на продуктивність та енергоємність процесу подрібнення;

3. Експериментально дослідити вплив конструктивно-режимних параметрів модернізованої молоткової дробарки на якісні та енергетичні показники готового продукту;

4. Провести аналіз розробленої конструкції модернізованої молоткової дробарки з точки зору охорони праці;

5. Провести оцінку економічних показників розробленої конструкції модернізованої молоткової дробарки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес подачі та подрібнення зерна у молотковій дробарці з отримання готового продукту необхідної крупності.

Предметом дослідження є закономірності впливу конструктивно-режимних та технологічних параметрів молоткової дробарки на продуктивність та енергоємність процесу подрібнення зерна.

1 Огляд конструкцій подрібнювачів кормів

1.1 Аналіз способів і технічних засобів, що застосовуються для подрібнення сільському господарстві

Для подрібнення зерна широке поширення на сільськогосподарських підприємствах отримав спосіб подрібнення матеріалу механічним впливом із боку робочих органів. Під подрібненням розуміється постійне зменшення вихідних розмірів частинок шляхом фізичного впливу на них зовнішніх сил, що перевершують величину сили молекулярного зчеплення цих частинок.

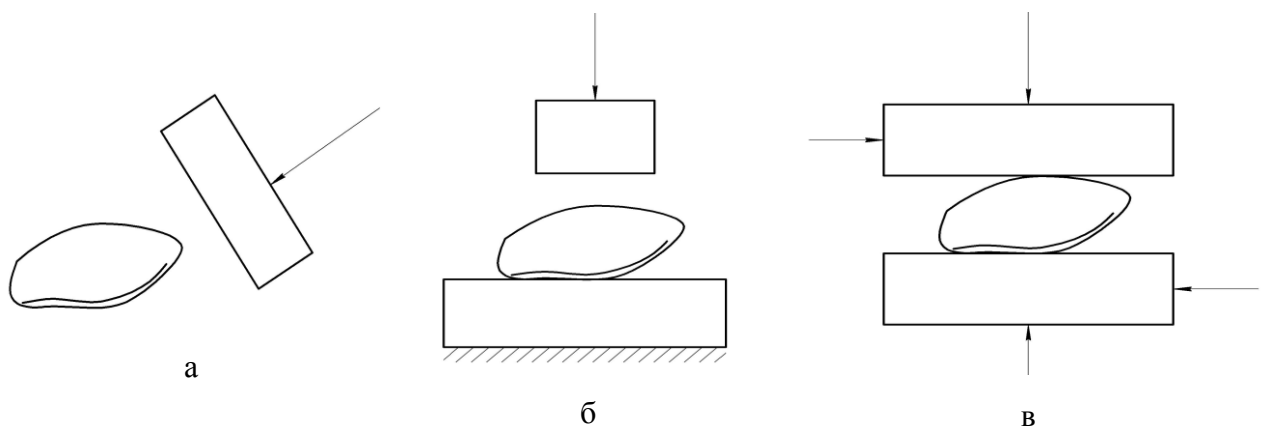
Залежно від виду деформації, що викликається в частинці подрібнюваного матеріалу та способу впливу на неї робочими органами подрібнювальних машин відомі такі основні способи подрібнення матеріалів: ударом, стиранням, сколюванням, різанням і стисканням (рисунок 1.1). Спосіб подрібнення

вибирається, керуючись переважно фізико-механічними властивостями матеріалу.

Найбільшого поширення серед способів процесу подрібнення набув удар. Розрізняють подрібнення за допомогою вільного (рис. 1.1, а) та стисненого (рис. 1.1, б) ударів. Під час вільного удару подрібнення частинки матеріалу відбувається внаслідок зіткнення її із робочими органами молоткової дробарки або іншими тілами у польоті. Ефективність даного процесу подрібнення визначається швидкістю зіткнення частинок матеріалу незалежно від цього, рухається руйноване тіло чи робочий орган дробарки.

При стисненому ударі частка матеріалу руйнується, потрапляючи між двома робочими органами дробарки. Ефективність цього процесу подрібнення залежить від кінетичної енергії ударяючого тіла.

При стиранні (рис. 1.1, в) матеріал руйнується під дією сил стиску та тангенціальних сил, в результаті чого виходить порошкоподібний продукт. При стиранні збільшується енергоємність процесу та знос робочих органів дробарки. Внаслідок чого продукти зносу робочих органів дробарки можуть потрапляти в масу, що подрібнюється, що не бажано з точки зору ведення процесу.



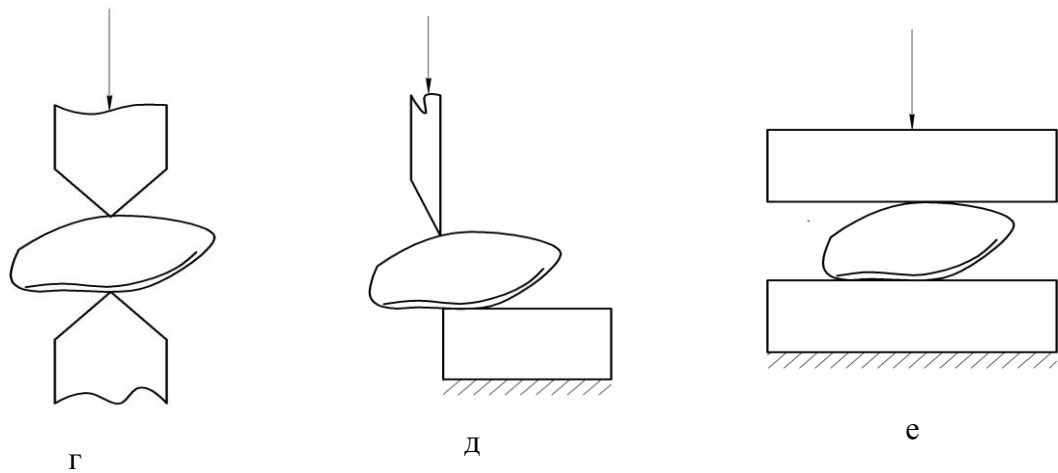


Рисунок 1.1 – Способи подрібнення матеріалів: а – вільним ударом; б - стисненим ударом; в - стиранням; г – сколювання; д - різанням; е – стисканням

При сколюванні (рис. 1.1, г) матеріал руйнується на частини у місцях найбільших концентрацій напружень, що викликаються клиноподібним розколюючим органом дробарки. Частинки більш однорідні за розмірами та формі. Цей спосіб дозволяє регулювати розміри одержуваних частинок.

При різанні (рис. 1.1, д) матеріал руйнується на заздалегідь задані по розміру та формі частини. Процес повністю керований. Руйнування матеріалу при стисканні (рис. 1.1, е) відбувається, коли внутрішні напруження у ньому перевищують межу міцності при стисканні.

На підставі описаних способів подрібнення матеріалів, можна класифікувати подрібнювальні машини, а також зробити висновок про застосування найбільш ефективною машини, що дозволяє подрібнювати зерна до необхідного гранулометричного складу.

Для процесу подрібнення на сільськогосподарських підприємствах застосовують різні подрібнюючі машини, що розрізняються за конструкцією та типом робочих органів: хрестові, штифтові, барабанні, тарілчасті, роторні та молоткові (рис. 1.2).

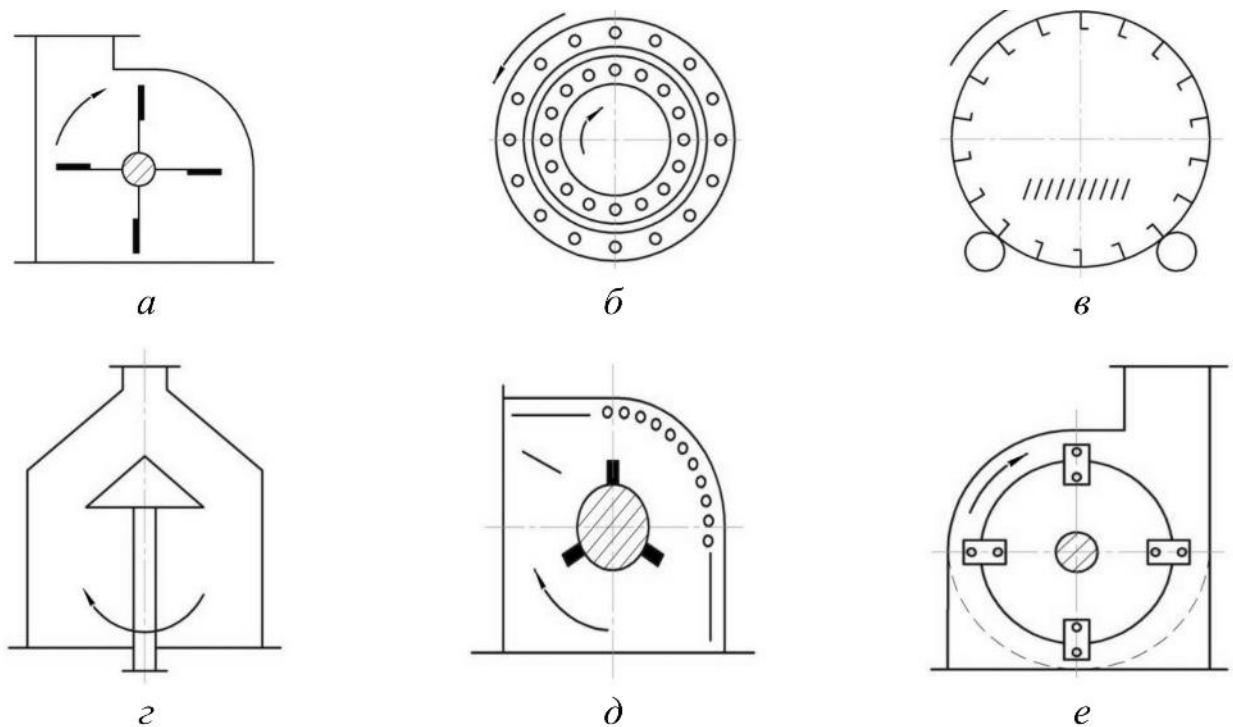


Рисунок 1.2 – Схеми подрібнювальних машин: а – хрестові; б – штифтові; в – барабанні; г – тарілчасті; д – роторні; е – молоткові

Хрестові дробарки (рис. 1.2, а) у своїй конструкції мають била, жорстко закріплені на роторі, колова швидкість бил може досягати до 100 м/с. Дані дробарки знайшли широке застосування для подрібнення м'яких матеріалів.

У штифтових дробарках (рис. 1.2 б) одним з основних робочих органів є два циліндри, що утворюють яких представляють штифти, жорстко закріплені на основі. Процес подрібнення даних дробарок відбувається за рахунок обертання двох циліндрів зі штифтами, що обертаються назустріч. Швидкість руху штифтів може досягати до 150 м/с та вище. Готовий продукт при подрібненні штифтовими дробарками має крупність до 5 мм. Дані дробарки знайшли широке застосування для подрібнення матеріалів зниженої міцності.

Барабанні дробарки (рис. 1.2, в) включають в себе пустотілий барабан, який має торцеві кришки з порожніми цапфами, встановленими у підшипниках. Дробильна камера заповнена подрібнюючими тілами на 25 – 40% та мате-

ріалом, що подрібнюється. У дробильній камері за допомогою відцентрової сили інерції подрібнюючий матеріал переміщається до стінок барабана дробарки, де стикається в зоні з подрібнюючими тілами. Дані дробарки знайшли своє застосування в основному для подрібнення маломіцних продуктів. Неможливість застосування барабанних дробарок для подрібнення зерна пов'язано з тим, що дані дробарки є періодичної дії та мають великі габаритні розміри.

У тарілчастих дробарках (рис. 1.2, г), подрібнення здійснюється за рахунок удару маси матеріалу, що розганяється за допомогою обертання диска (тарілки) об деку. Дані найбільш застосовні при подрібненні таких матеріалів, як глина, вапняк та ін. З досліджень тарілчасті дробарки мало застосовні в сільському господарстві через їх недостатню ефективність процесу подрібнення.

У роторній дробарці (рис. 1.2 д) руйнування відбувається за допомогою ударного впливу бил по матеріалу, а також зіткнень частинок подрібнюваної маси між собою. Для найбільш ефективного руйнування подрібнюваного матеріалу колова швидкість ротора може досягати 80 м/с. Дані Дробарки в основному застосовують при виробництві будівельних матеріалів.

У молоткових дробарках (рис. 1.2, е) процес подрібнення відбувається за рахунок впливу на подрібнюваний матеріал шарнірно-підвішених на ротор молотків. Молоткові дробарки відрізняються досить високим ступенем подрібнення. Перевагами молоткових дробарок є швидке вилучення подрібненого матеріалу з дробильної камери, можливість регулювати ступінь подрібнення, легка заміна робочих органів, що зношуються, механізоване завантаження подрібнюваного матеріалу.

Крім представлених видів подрібнювальних машин у сільському господарстві також використовуються жорнові млини та вальцьові верстати. Жорнові млини в основному працюють за принципом стирання. Дані млини знайшли застосування в основному для подрібнення зернових матеріалів на боро-

шно. Робочими органами жорнових млинів є два плоскі диска (жорна), які виготовлені з матеріалів гірських порід.

Вальцовими верстатами називається група подрібнювальних машин, у яких стикаються один з одним рухомі та нерухомі поверхні робочих органів, утворюючи жорсткий контакт через матеріал, що подрібнюється. Вальцові верстати набули найбільшого поширення в борошномельному, а також комбікованих виробництвах.

Машини для подрібнення зерна повинні задовольняти такі основні вимоги:

- можливість регулювати рівень подрібнення для всіх видів зерна. Наприклад, середній розмір частинок (модуль помелу) для великорогатої худоби повинен бути до 3 мм, свиней та птахів – до 1 мм;
- забезпечення швидкого переналагодження з одного виду зерна на інший без застосування складного інструменту;
- висока зносостійкість та ремонтпридатність робочих органів;
- порівняно мала енергоємність;
- можливість регулювання подачі подрібнюваного матеріалу до робочих органів дробарки;
- у конструктивному відношенні машина повинна бути простою, мати високу надійність у роботі, зручна для обслуговування та ремонту.

Проведений аналіз представлених подрібнювальних машин показує, що молоткові дробарки найбільш повно відповідають вимогам, що висуваються для подрібнення зерна. Проте слід зазначити, що сам процес подрібнення молотковими дробарками зерна до сьогодні мало вивчений, тому постає питання про вдосконалення, як самого процесу подрібнення, так і конструктивно-режимних, а також технологічних параметрів дробарки.

1.2 Класифікація молоткових дробарок

Класифікація молоткових дробарок представлена рис. 1.3.

За організацією робочого процесу, що протікає в робочій камері, молоткові дробарки розрізняють відкритого та закритого типів. У дробарках відкритого типу подрібнений матеріал видаляється з дробильної камери, не проходячи повний цикл при своєму переміщенні. Одним з основних факторів процесу подрібнення в таких дробарках є вільний удар.

У дробарках закритого типу решето та деки охоплюють всю поверхню дробильної камери та матеріал, що у неї, здійснює круговий рух, розташовуючись у вигляді пухкого повітряно-продуктового шару. У цих дробарках матеріал подрібнюється за рахунок ударного впливу, а також і стирання.

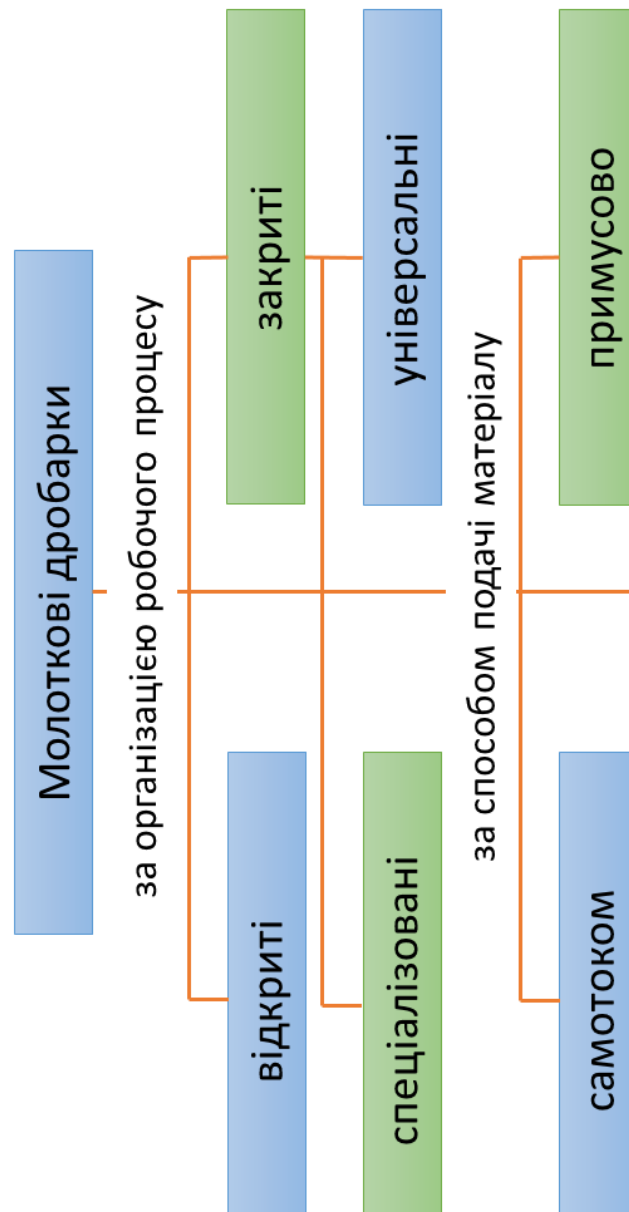


Рисунок 1.3 –
Класифікація
молоткових дробарок

Велике поширення набули дробарки закритого типу, які поділяють на спеціалізовані та універсальні. У спеціалізованих молоткових дробарок до основних робочих органів відноситься ротор з шарнірно закріпленими молотками, а також решета та деки.

В універсальних дробарках, крім молотків на роторі також встановлені криволінійної або прямолінійної форм ножі, або встановлений окремо ріжучий барабан.

За способом подачі подрібнюваного матеріалу в дробильну камеру слід розрізняти дробарки з примусовою подачею та самопливом. Деякі дробарки, для подачі поганосипких матеріалів забезпечені пристроями живлення.

1.3 Огляд конструкцій молоткових дробарок

Дробарка серії ДЗР (рис. 1.4) передбачає примусове подання матеріалу за допомогою шнекового живильника, встановленого у горловині завантажувального бункера 1.

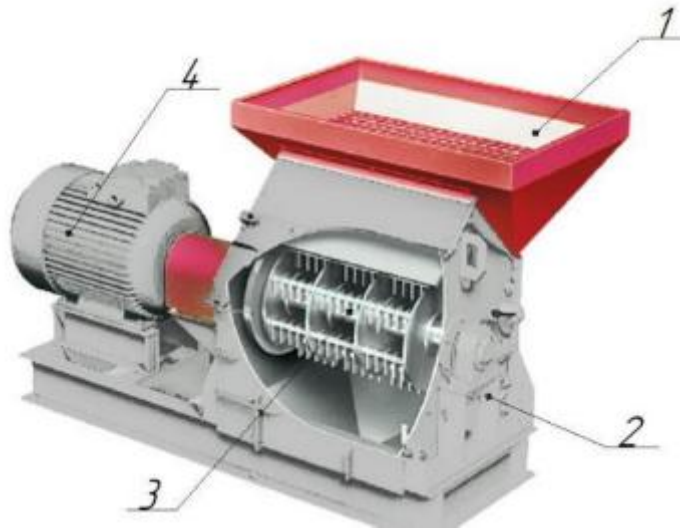


Рисунок 1.4 – Дробарка серії ДЗР: 1 – завантажувальний бункер; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – електродвигун

Сировина надходить у корпус 2 з дробильною камерою, де піддається подрібненню за допомогою ударів молотків, шарнірно закріплених. Подрібнена сировина виводиться з дробильної камери. Привід валу ротора з молотками здійснюється за допомогою електродвигуна 4.

Універсальні молоткові дробарки серії МДМ (рис. 1.5) призначені для тонкого подрібнення сухих продуктів.



Рисунок 1.5 – Молоткова дробарка серії МДМ: 1 – завантажувальний бункер; 2 – корпус

Сировина надходить у завантажувальний бункер 1. Подрібнення матеріалу відбувається за допомогою молотків та пальців, встановлених у корпусі 2. Дробарка є універсальною і застосовується не лише у сільськогосподарській, а й інших галузях промисловості. Дробарки даної серії мають високу енергоємність процесу подрібнення зерна.

Дробарка зерна ДЗ-Т-1 (рис. 1.6) має комплект змінних решіт, отворами діаметром 4, 6 та 8 мм. Маса, що подрібнюється, засипається в завантажувальний бункер 1, в якому завантажувальна горловина відкрита до необхідного розміру, та висипається в корпус 2 дробильної камери між деками і обертається в камері ротором 3 з шарнірно підвішеними молотками 4. Подрібнені частки видаляються через отвори в решітках, а розмір частинки, що перевищують отвори решета, знову захоплюються молотками і прямують у дробильну каме-

ру для подальшого подрібнення. Коли одна сторона молотів 4 зносилася, молотки встановлюють стороною, що не працювала, і фіксують за допомогою пальців 5. Дана дробарка призначена для подрібнення зернових матеріалів.

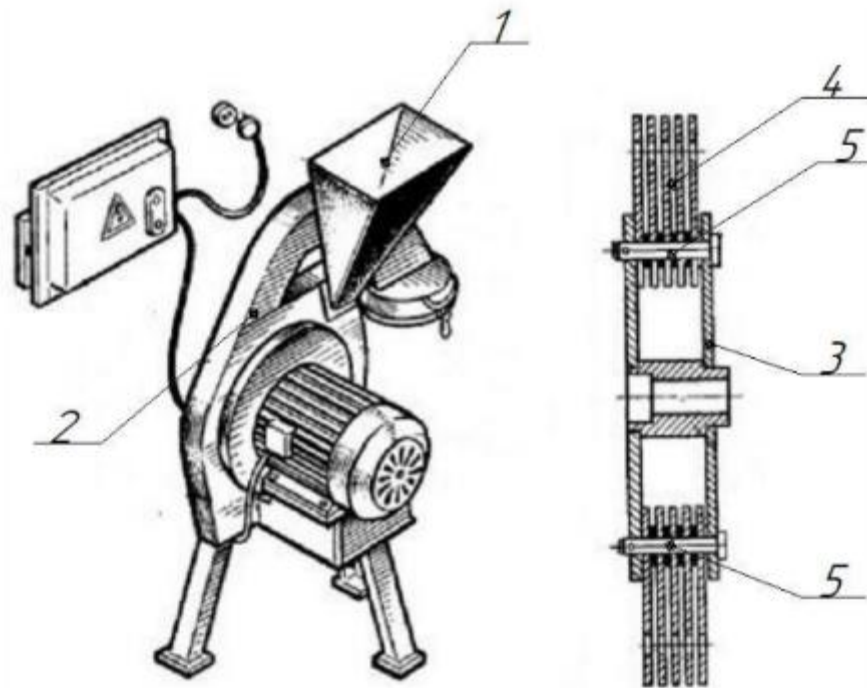


Рисунок 1.6 – Дробарка зерна ДЗ-Т-1: 1 – завантажувальний бункер; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – молоток; 5 – палець

Молоткова дробарка серії Molot є універсальною та в основному застосовна для подрібнення сухих продуктів на борошно. Дробарка застосовується не лише у сільськогосподарській, а й у інших галузях промисловості. Фракція подрібненого матеріалу залежить від типу подрібнюваного матеріалу та від колової швидкості обертання ротора із молотками.

Молоткова дробарка ДКМ-5 (рис 1.7) застосовується при подрібненні зернових матеріалів різної вологості, а також грубих кормів. Зерно подається в приймальний бункер шнеком. Перед потраплянням у подрібнювальну камеру зерно очищається від механічних домішок за допомогою магнітного сепарато-

ра і після чого потрапляє в дробильну камеру. Подрібнення відбувається в результаті впливу ротора, що обертається з молотками на зерно.

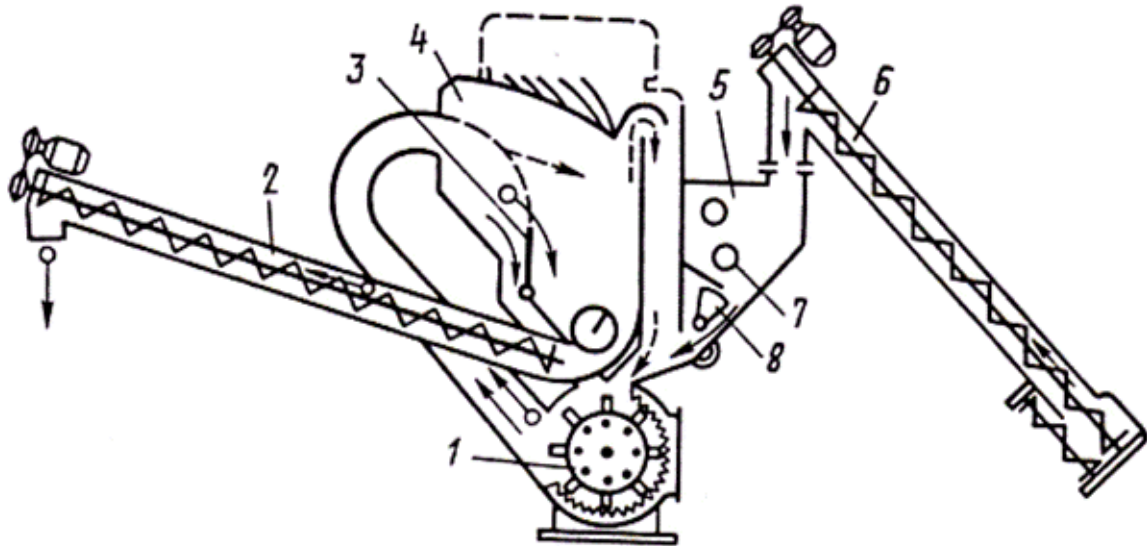


Рисунок 1.7 – Молоткова дробарка ДКМ-5: 1 - дробарка; 2 – вивантажний транспортер; 3 – поворотна заслінка; 4 – сепаратор; 5 – бункер для зерна; 6 – завантажувальний транспортер; 7 – датчик рівня зерна; 8 – заслінка бункера

При ударному впливі шарнірно-закріплених на роторі молотків матеріал подрібнюється і видаляється з дробильної камери. Готовий продукт транспортується з подрібнювальної камери на вивантажний шнек. Готовий продукт за допомогою вивантажувального шнека надходить у транспортні засоби.

Певний інтерес для конструкторів подрібнювальних машин представляють деякі конструкції дробарок виробництва зарубіжних фірм.

Молоткова дробарка DFZC компанії Bühler (Швейцарія) застосовується для тонкого розмелювання, а також для грубого подрібнення у виробництві комбікормів, борошномельному виробництві та промисловості при виробництві

тві та використанні біомаси. Французька фірма AWILA® ITCs випускає молоткові дробарки AWSK630 вільно підвішеними молотками.



Рисунок 1.8 – Дробарки DFZC (а) та AWSK630 (б)

Дані дробарки прості за конструкцією, а також мають необхідну продуктивність і широко застосовні на комбикормових заводах для подрібнення різноманітних інгредієнтів. Кожна дробарка забезпечена живильним пристроєм вібраційного типу з автоматичним керуванням. Живлення забезпечується на максимальну продуктивність, що відповідає потужності електродвигуна.

Подрібнений матеріал забирається пневматичним транспортом всмоктуючого типу. Система решіт у дробильній камері охоплює кут 240° . Молотки виготовляють із спеціальної сталі, що зазнала термічної обробки. На молотках є рифлі, внаслідок чого продуктивність дробарки не знижується і профіль рифлених молотків практично зберігається до їх повного зношування. Кожен молоток перфорований двома отворами. Це дозволяє встановлювати його під

чотирма різними кутами. Положення всіх молотків змінюють одночасно і однаковим методом, забезпечуючи цим рівновагу ротора.

Французька фірма Promill випускає молоткові дробарки Promill. Основними елементами даних дробарок є дробильна камера кришкою, що відкидається, молотковий ротор з шарнірно-закріпленими молотками, а також решето та приймальний лоток.



Рисунок 1.9 – Дробарка Promill

Процес подрібнення переважно відбувається у нижній частині дробарки; найбільша продуктивність забезпечується нерухомими молотками, розташованими в три ряди та укріплених на внутрішній частині корпусу дробарки, а також рухомими молотками, встановленими на роторі. Недоліком даних дробарок є швидке знос молотків і висока енергоємність процесу подрібнення.

Подрібнювач кормів ІЗКБ-1 (рис. 1.10) є універсальним приладом, призначеним для дроблення зернових, подрібнення трави, коренеплодів, листя, сіна, соломи та інших видів корму.

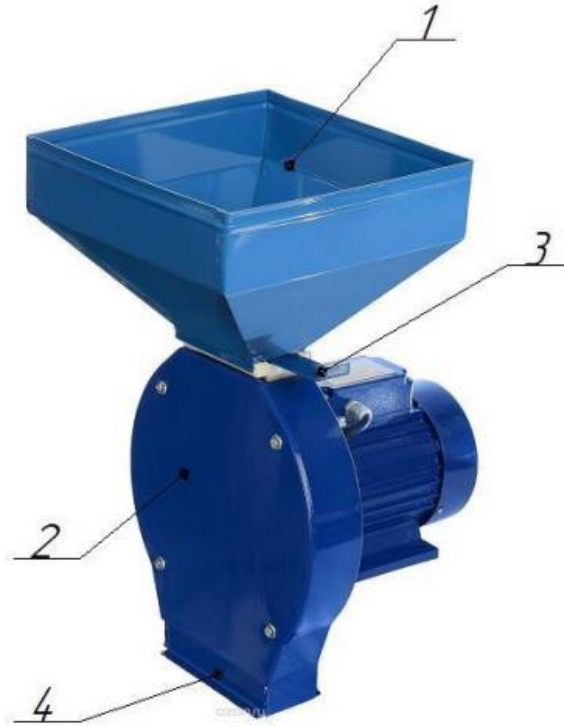


Рисунок 1.10 – ІЗКЛ-1: 1 – завантажувальний бункер; 2 – корпус;
3 – заслінка; 4 – вивантажне вікно

Зерно або солома засипаються в бункер 1. Подача подрібнюваного матеріалу корпус 2 регулюється заслінкою 3. Процес подрібнення відбувається в дробильній камері за допомогою молотків, шарнірно закріплених на роторі. Після подрібнення зерна або корму готовий продукт видаляється через вивантажне вікно у ємність. У комплект входять змінні решета з діаметром отворів 2, 3, 4 мм, призначені для зміни розміру помелу.

Фірма «Christie Norris» (Велика Британія) випускає молоткові дробарки В21/2, у якій ефективність процесу подрібнення збільшується за рахунок похилих зубчастих пластин, встановлених у завантажувальній горловині.

В дробарках, що випускаються фірмою «Джиза» (Італія), для покращення показників подрібнення дека має шипи, приварені у шаховому порядку.

Дробарки, що випускаються фірмою «Кагава» (Японія) використовуються для тонкого подрібнення, що живить патрубків у яких зміщений щодо осі. При такому розташування патрубків живлення подрібнюваний матеріал нерівномірним потоком розподіляється по ширині ротора дробарки, що веде до зниження її продуктивності. В даний час найбільшого поширення набули молоткові дробарки, що випускаються фірмою «Van Aarsen» (Нідерланди).



Рисунок 1.11 – Дробарка Van Aarsen

Конструкція даних дробарок проста і в той же час враховані вимоги при виробництві кормів: можливість роботи у оптимальних режимних параметрах; очищення подрібнюваного маси за допомогою магнітного сепаратора, а також

простота в обслуговуванні, все це дозволяє підібрати оптимальні параметри робочого процесу дробарку для будь-якого комбікормового заводу.

З представленого огляду конструкцій молоткових дробарок випливає, що здатність подрібнювати зерна, супроводжується високою енергоємністю процесу. Основним із робочих органів молоткових дробарок є дробильний барабан із шарнірно-закріпленими на ньому молотками. До допоміжних робочих органів відносяться механізми подачі подрібнюваного матеріалу в подрібнювальну камеру.

Удосконалення основних та допоміжних робочих органів молоткової дробарки дозволить підвищити її продуктивність та знизити енергоємність процесу подрібнення зерна. З метою виявлення найбільш перспективних конструкцій основних та допоміжних робочих органів молоткової дробарки, зокрема молотків, проведемо їх аналіз.

1.4 Аналіз основних робочих органів молоткових дробарок

Основним ударним елементом у молоткових дробарках є молоток. Для подрібнення в сільському господарстві застосовуються молотки різних конструкцій. Найбільшого поширення отримали пластинчасті молотки (рис. 1.12), які можна поділити на прямокутні (рис. 1.12, а, б), зі ступінчастими кінцями (рис. 1.12, в, г, д) та складові фігурні (рис. 1.12, е).

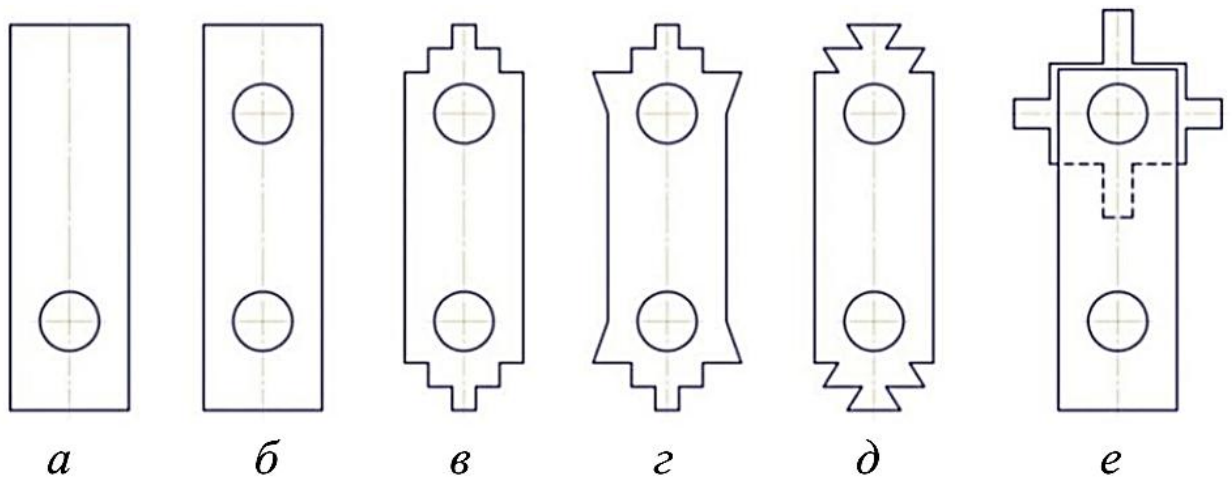


Рисунок 1.12 – Форми молотків: а, б – прямокутні; в, г, д - зі східчастими кінцями; е – складні фігурні

За наявності одного отвору для пальців молотки після зносу переднього робочого кута можуть бути повернені та вдруге використані, а молотки з двома отворами можуть бути використані до чотирьох разів. Наявність щаблів на кінцях збільшує ефективність процесу подрібнення плівчастих та волокнистих матеріалів. Складні фігурні молотки, в основному знайшли своє застосування при подрібненні великокускових матеріалів (макуха, брикети, шматкова сіль, кістки та ін.)

По товщині молотки можна поділити на тонкі, нормальні та товсті. Тонкі молотки (2 – 3 мм) використовують при подрібненні сипких матеріалів, для подрібнення стеблових матеріалів використовують середні молотки (6 – 8 мм), товсті молотки (8 – 12 мм) застосовуються при подрібненні крупнокускових матеріалів. Молотки виготовляють з вуглецевої або марганцевистої сталі, термічною обробкою робочих кінців до твердості за Бренеллем 390 - 475 НВ. Залежно від виду термічної обробки, а також виготовленого матеріалу термін служби молотків становить від 72 до 280 годин.

Найбільший інтерес серед робочих органів дробарки становлять молотки, що відрізняються формою робочої поверхні. Недоліком представлених конструкцій молотків, є низька ефективність взаємодії робочою поверхнею молотка з масою, що подрібнюється. Молотки, закріплені на ротор дробарки, захоплюють подрібнювану масу і наносять ударний вплив, захоплюючи його у обертальний рух, утворюючи при цьому повітряно-продуктовий шар, що рухається відносно обертання ротора.

Частини, що підлягають подрібненню, групуються в повітряно-продуктовому шарі так, що великі частинки розташовані ближче до робочої поверхні решета, перегороджуючи шлях видалення з дробильної камери частинкам, які перебувають під ними. При даному розташуванні частинок подрібнюваного матеріалу, крупним часткам досить важко потрапити під удари молотків, а дрібні частинки внаслідок частого ударного впливу молотків переподрібнюються, що веде до збільшення енергоємності процесу подрібнення, а також зниження продуктивності.

Під час робочого процесу молотки відхиляються від радіального положення, внаслідок чого сила удару буде слабшою, а частка подрібнюваного матеріалу буде схилитися до ковзання вздовж грані молотка, внаслідок чого також відбувається зниження ефективності подрібнення.

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

1.5 Класифікація та аналіз живильних пристроїв сипких матеріалів

Важливим конструктивним елементом у молоткових дробарках є завантажувальний бункер, який служить як проміжна ємність, забезпечує стабільність процесу подачі подрібнюваного матеріалу до робочих органів дробарки.

Відомо, що витікання подрібнюваних матеріалів із завантажувального бункера буває нормальне, суцільне та гідравлічне. При нормальному витіканні частинки знаходяться лише у зоні стовпа матеріалу, розташованого над вивантажним отвором бункера (рис. 1.13, а). Вільна поверхня подрібнюваного матеріалу є воронкою, вздовж стінок якої частинки подрібнюваного матеріалу переміщуються в центральну зону. Матеріал, розташований біля стінок бункера, утворює так звані «мертві» зони. У цих зонах частинки матеріалу нерухомі доти, поки вирва, утворена на поверхні подрібнюваного матеріалу, не досягне нижньої частини завантажувального бункера.

При суцільному закінченні всі частки подрібнюваного матеріалу завантажувальному бункері знаходяться одночасно в русі (рис. 1.13, б). Вільна поверхня подрібнюваного матеріалу не має чітко вираженої вирви, всі точки цієї поверхні опускаються одночасно.

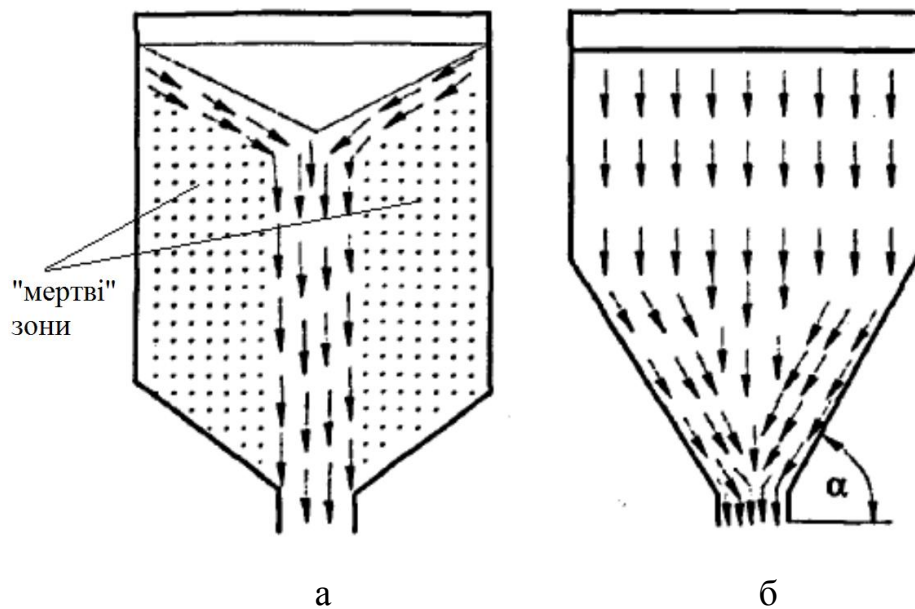


Рисунок 1.12 – Схеми закінчення сипких матеріалів із бункерів: а – нормальне; б - суцільне

При суцільній формі витікання в завантажувальному бункері відсутні «мертві» зони дозволяє вирівнювати нерівномірний потік подрібнюваного матеріалу. Гідравлічне витікання відбувається при випуску з бункера сильно аерованого подрібнюваного матеріалу, а також при інтенсивних вібраціях.

Досвід застосування різних конструкцій завантажувальних бункерів виявив ряд проблем витікання сипких матеріалів, що знижують ефективність процесу подачі подрібнюваних матеріалів до робочих органів молоткової дробарки. Основними з них є: нерівномірне витікання, наявність «мертвих» зон у порожнині завантажувального бункера, утворення серединного течії та коливання продуктивності.

У зв'язку з цим доцільно всі матеріали поділити на дві групи: легкосипкі та важкосипкі. Важкосипкі матеріали в основному складаються з частинок неправильної форми, мають великий коефіцієнт внутрішнього та зовнішнього тертя, що сприяє механічній зчеплюваності між ними і перешкоджає процесу витікання.

Насипна щільність досліджуваних нами подрібнюваних матеріалів становить $280...420 \text{ кг/м}^3$, що також призводить до їх поганої сипкості.

На підставі огляду наукових та патентних літературних джерел нами був проведений аналіз основних типів пристроїв живлення, що відповідають технологічним вимогам – безперервності робочого процесу, надійності роботи та мінімальним витратам енергії. Класифікація живильників представлена на рис. 1.14.

При виборі та розробці живильного пристрою повинні враховуватися такі вимоги:

- здійснювати безперервну та рівномірну подачу матеріалу;
- забезпечувати необхідну пропускну здатність матеріалу до робочих органів дробарки;

- здійснювати подачу матеріалу до робочих органів молоткової дробарки з певною швидкістю.

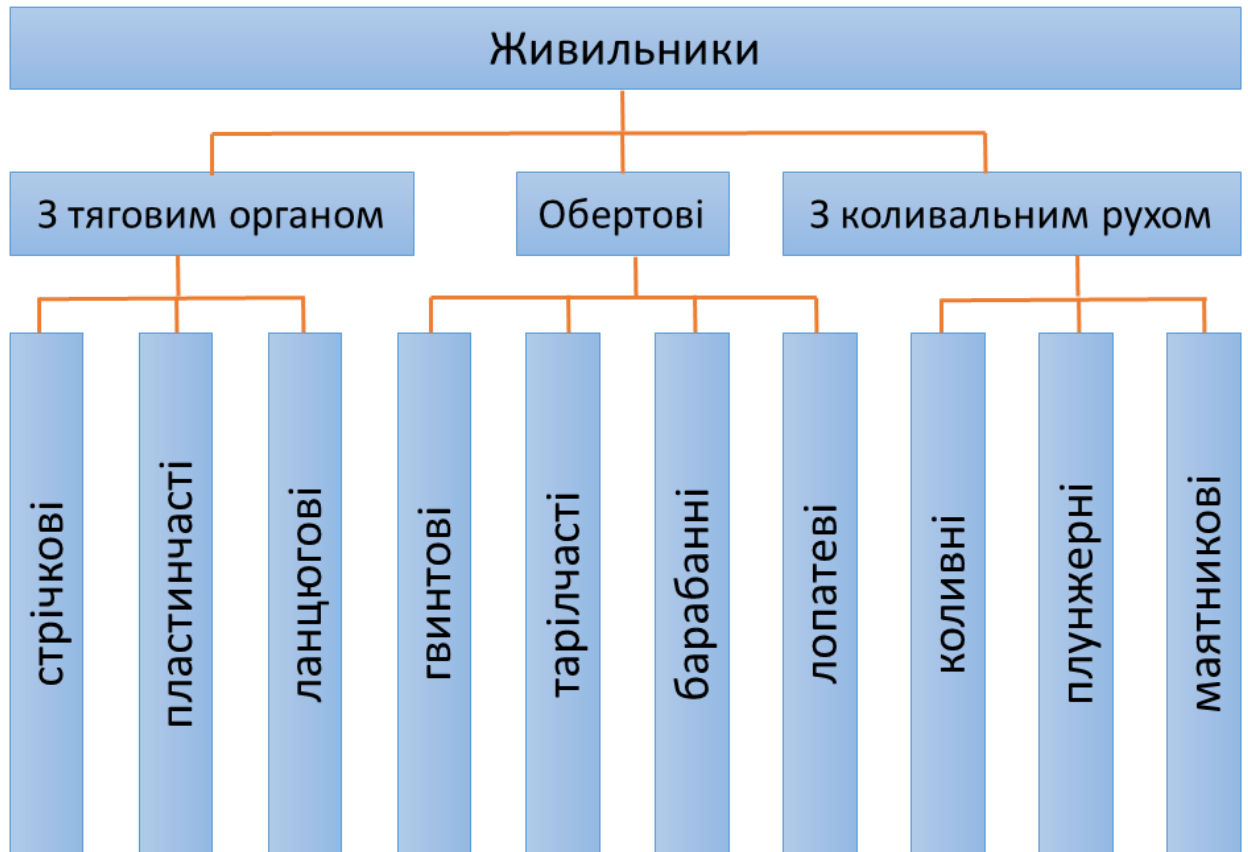


Рисунок 1.14 - Класифікація живильників

Стрічкові, пластинчасті та ланцюгові живильники отримали широке поширення в сільському господарстві для транспортування вологих та злежаних, а також крупнокускових матеріалів. Такого типу живильники не можуть бути використані в молоткових дробарках, тому що є неефективними через їх нерівномірність подачі матеріалу.

Коливні, плунжерні та маятникові живильники також малозастосовні для рівномірного подання матеріалу. Найбільше застосування у конструкції молоткових дробарок знайшли живильники з робочим органом, що обертається. Гвинтові живильники (рис. 1.15) застосовуються для подачі добре сипких

матеріалів від дрібнокускових до порошкоподібних. Недоліком гвинтових живильників є їх висока енергоємність процесу, порівняно висока нерівномірність подачі матеріалу.

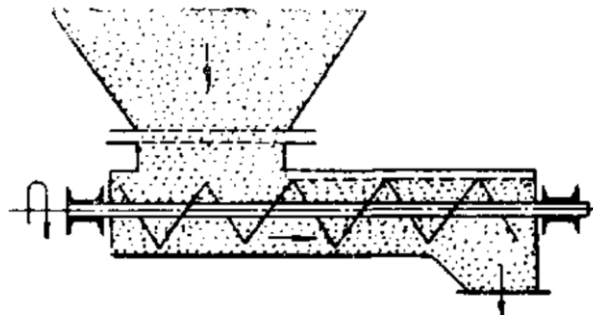


Рисунок 1.15 – Схема гвинтового живильника

Тарілчасті живильники призначені для добре сипких матеріалів. Недоліком таких живильників є те, що вони не можуть застосовуватись для подачі матеріалів із низькою насипною щільністю. Барабанні живильники різних типів різноманітні за конструкцією та принцип дії.

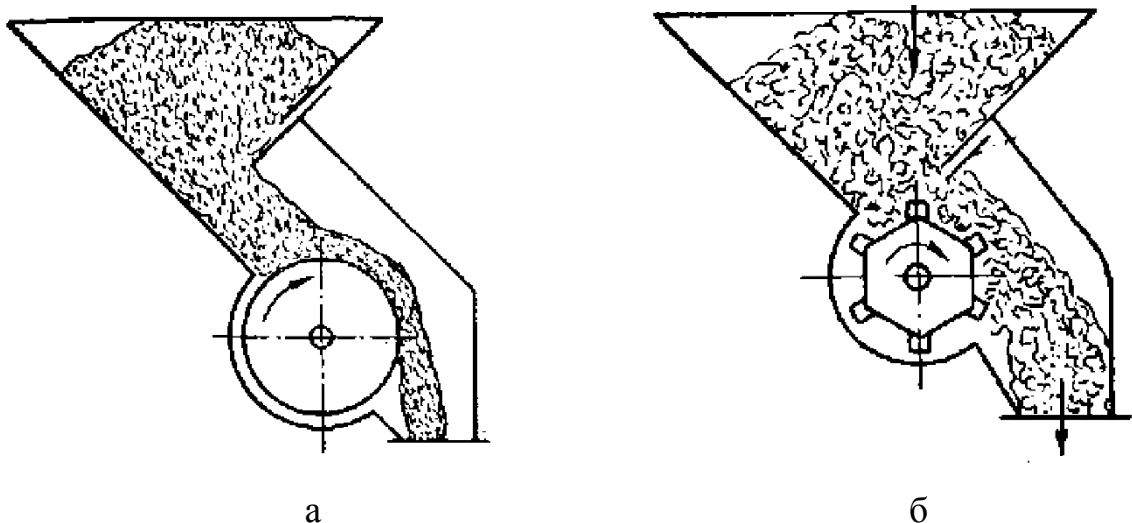


Рисунок 1.16 – Схеми барабанних живильників: а - циліндричні з гладкою поверхнею; б - циліндричні з рифленою поверхнею

За конструктивними ознаками барабанні живильники розрізняються на:
 - циліндричні з гладкою поверхнею (рисунок 1.16 а); - Циліндричні з рифле-
 ною поверхнею (рисунок 1.16, б).

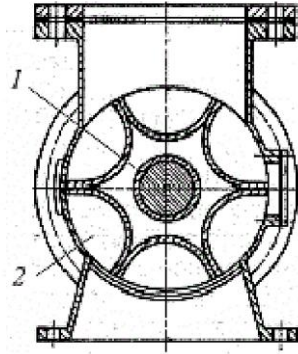


Рисунок 1.17 – Схема живильника з пористим барабаном:

1 – ротор; 2 – осередок барабана

Живильники з циліндричною гладкою поверхнею являють собою корпус із приймальним бункером, усередині якого знаходиться гладкий циліндричний барабан. Такі живильники не можуть працювати з важкосипкими матеріалами через прилипання їх до барабана та забивання його. Живильники з рифленим барабаном застосовується для порошкоподібних і дрібнозернистих матеріалів. Але такі живильники зазвичай малопродуктивні.

Живильники з пористим барабаном (рис. 1.17) призначені для подачі важкосипучих матеріалів.

Живильники з лопатевим барабаном призначені для добре сипких матеріалів, що так само, як і живильники з циліндричною гладкою поверхнею малоефективні. Таким чином, вимогам задовольняють живильники з комірчастим барабаном спільно з гвинтовими, комірки (жолоби) яких виконані по гвинтовій лінії.

1.6 Висновки

Аналіз існуючих подрібнювальних машин показав, що основними машинами для подрібнення різних сільськогосподарських матеріалів є молоткові дробарки. Існуючі в даний час конструкції молоткових дробарок мають середню продуктивність та велику енергоємність процесу подрібнення.

Рівномірне подання матеріалу до робочих органів молоткової дробарки дозволяє підвищити якість подрібнення. З метою виявлення найбільш перспективної конструктивно-технологічної схеми пристрою живлення провели їх аналіз, який показав, що живильники барабанного типу з жолобами, виконаними по гвинтовій лінії, найбільш повно задовольняють пропонованим до них вимог.

У зв'язку з цим метою роботи є підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу подрібнення зерна за рахунок модернізації молоткової дробарки.

2 Теоретичне обґрунтування техніко-технологічних параметрів дробарки

2.1 Обґрунтування перспективної конструктивно-технологічної схеми молоткової дробарки

Аналіз існуючих конструкцій молоткових дробарок дозволяє зробити висновок, що вони не можуть забезпечити якісне та ефективне подрібнення зерна через нерівномірну його подачу до робочих органів дробарки, внаслідок чого збільшується енергоємність процесу подрібнення та знижується продуктивність. Тому була розроблена перспективна конструктивно-технологічна схема молоткової дробарки з пристроєм живлення, що дозволяє рівномірно подавати подрібнюваний матеріал до молоткового ротора дробарки.

Розроблена конструкція молоткової дробарки дозволяє рівномірно подавати подрібнюваний матеріал до його робочих органів, за рахунок чого знижується динамічне навантаження на вал ротора дробарки. Також знижується енергоємність процесу подрібнення та збільшується продуктивність.

Молоткова дробарка (рис. 2.1) складається з циліндричного корпусу 1 з завантажувальним бункером 2 та вивантажним вікном 3, дробильною камерою 4. У середині корпусу встановлені співвісно з ним ротор 5 з шарнірно закріпленими за допомогою пальців 6 молотками 7. Також в циліндричному корпусі 1 навпроти вивантажувального вікна 3 встановлено решето 8. У горловині завантажувального бункера 2 змонтовано пристрій живлення 9, що являє собою циліндр із чотирма жолобами, протилежні сторони якого повернені щодо один одного. Пропонований живильний пристрій 9 відповідає наступним основним вимогам:

здійснює рівномірне подання подрібнюваного матеріалу до робочим органам молоткової дробарки;

забезпечує попереднє підпресовування подрібнюваного матеріалу перед попаданням у дробильну камеру;

забезпечує необхідну пропускну здатність та герметичність. Робота пристрою живлення здійснюється від індивідуального приводу із регулятором числа оборотів.

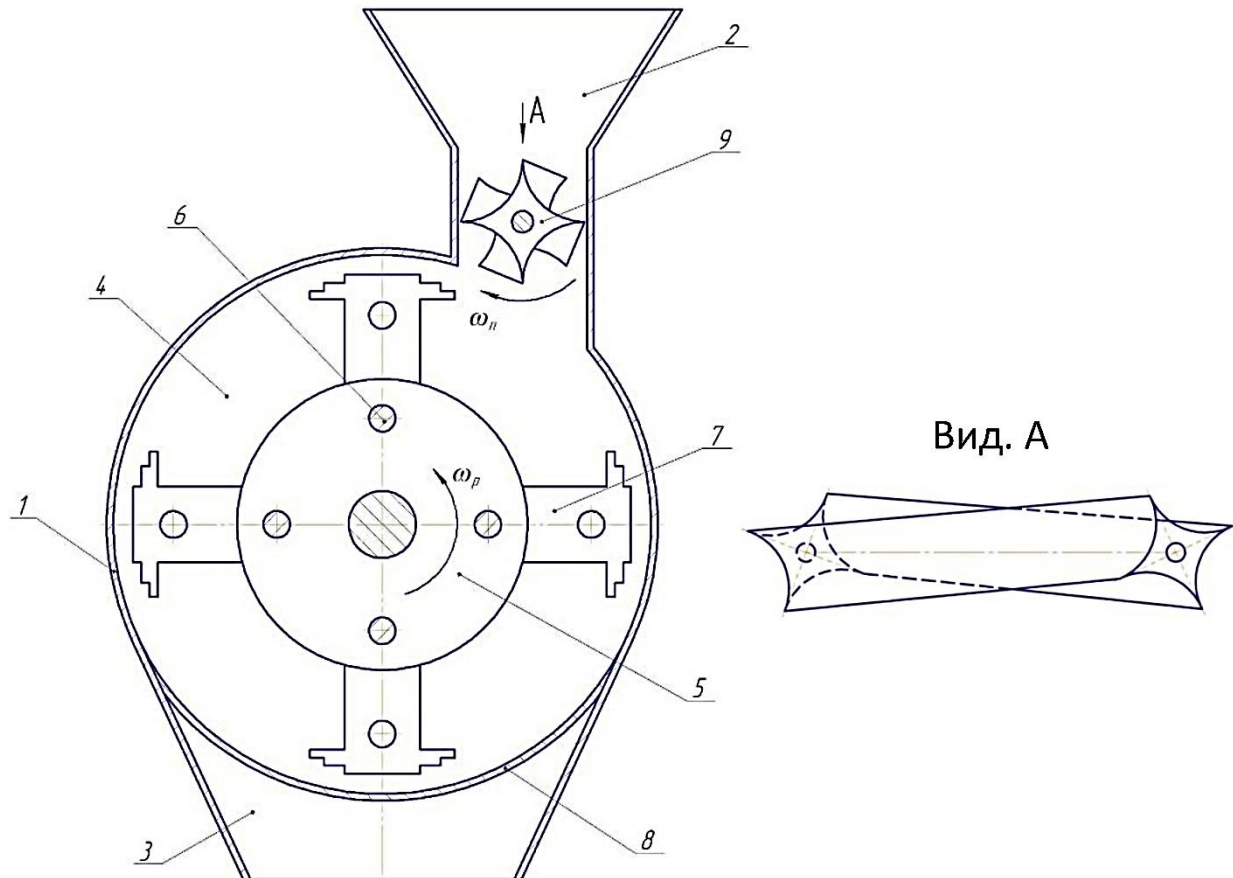


Рисунок 2.1 - Молоткова дробарка: 1 – циліндричний корпус; 2 – завантажувальний бункер; 3 – вивантажне вікно; 4 – дробильна камера; 5 – ротор; 6 – палець; 7 – молоток; 8 – решето; 9 - живильне пристрій

Молоткова дробарка працює наступним чином. З бункера накопичувача зерно надходить у завантажувальний бункер 2, звідки за допомогою живильного пристрою 9, потрапляє в циліндричний корпус 1 дробильної камери 4, де залучається до обертального руху і під дією відцентрових сил накопичується в

робочій зоні молотків 7, шарнірно закріплених за допомогою пальців 6 на роторі 5. Потрапляючи на робочу поверхню молотків 7, зерно за рахунок удару подрібнюється.

Частково подрібнене зерно під дією швидкості, повідомленої молотками 7, ударяються з великою швидкістю об корпус дробарки, а також решето 8. Через отвори решета 8 подрібнене зерно видаляється з дробильної камери у вікно вивантаження 3. Частинки, розміри яких менші за розміри отворів решета 8, проходять ці отвори та через вивантажне вікно 3 видаляються з дробарки. Більші частинки, що не пройшли через отвори решета 8, піддаються додатковому подрібненню.

Молоток (рис. 2.2) являє собою пластину 1, вздовж якої розташовані отвори 2 для його кріплення, виступи 3, радіуси від вершин яких до точки підвісу рівні.

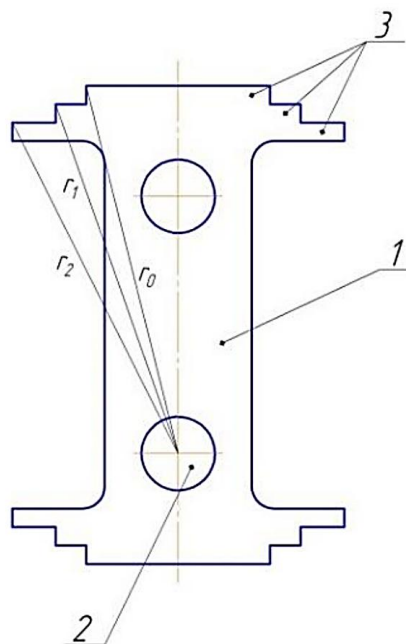


Рисунок 2.2 – Молоток дробарки

Досліджувана молоткова дробарка є сукупністю кількох окремих, але взаємопов'язаних технологічних процесом об'єктів, кожен з яких виконує певні технологічні операції, які мають значний вплив вхідні та вихідні параметри.

Таким чином, досліджувана молоткова дробарка складається з наступних елементів: завантажувального бункера з живильним пристроєм, апарат, що подрібнює, з експериментальними робочими органами, решетом та вивантаженою горловиною.

Вхідними параметрами, що впливають на робочий процес завантажувального бункера з пристроєм живлення, є: фізико-механічні властивості подрібнюваного матеріалу (вологість W , насипна щільність ρ), конструктивні та режимні параметри живильного пристрою (коефіцієнт використання об'єму жолоба пристрою живлення K_V , частота обертання вала живлячого пристрою n_p , кількість жолобів $z_{ж}$).

Вихідними параметрами, що визначають роботу живильного пристрою, що подає матеріал до подрібнюючого апарату, є: величина подачі Q_p витрати потужності на подачу подрібнюваного матеріалу $P_{под}$, енергоємність процесу подачі $E_{под}$ та нерівномірність подачі Δq .

Вхідними параметрами, що впливають на роботу подрібнювального апарату, є конструктивні та режимні параметри робочих органів (кількість молотків z_m , форма робочої поверхні молотків Φ_m , колова швидкість молотків v_m).

Вихідними параметрами молоткової дробарки, на основі яких проводиться оцінка її робочого процесу, є: продуктивність Q , витрати потужності на процес подрібнення P , енергоємність процесу подрібнення E та коефіцієнт якості готового продукту K_k .

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

2.2 Теоретичні дослідження робочого процесу живильного пристрою

2.2.1 Визначення величини подачі подрібнюваного матеріалу живильним пристроєм

Для оцінки кількісного показника роботи пристрою живлення потрібно визначення його величини подачі, тобто продуктивності по подачі. Теоретично величина подачі живильників барабанного типу робочим органом, що обертається, визначається за формулою:

$$Q = 60F_{\text{ж}}lz_{\text{ж}}n_{\text{п}}\rho, \text{ кг/год}, \quad (2.1)$$

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

l – довжина валу ротора живильного пристрою, м;

$z_{\text{ж}}$ – кількість жолобів;

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

ρ – насипна щільність подрібнюваного матеріалу, кг/м^3 .

З формули (2.1) видно, що величина подачі пристрою живлення залежить від площі поперечного перерізу робочого жолоба. Оскільки запропонований нами живильний пристрій є циліндр із чотирма жолобами, протилежні сторони якого повернені щодо один одного, тоді об'єм подрібнюваного матеріалу, що заповнив жолоб (рис. 2.3):

$$V_{\text{жс}} = F_{\text{жс}} l_{\text{л}}, \quad (2.2)$$

де $l_{\text{л}} = 1,2l$, l - довжина валу ротора живильного пристрою, м.

Загальна маса подрібнюваного матеріалу, що потрапив у жолоб пристрою (на малюнку 2.3 зображена штрихуванням) можна визначити за формулою:

$$F_{\text{ж}} = R_{\text{п}}^2 \left(\frac{\pi \varphi}{180^\circ} - \sin \varphi \right), \quad (2.3)$$

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

$R_{\text{п}}$ - радіус барабана живильного пристрою, м.

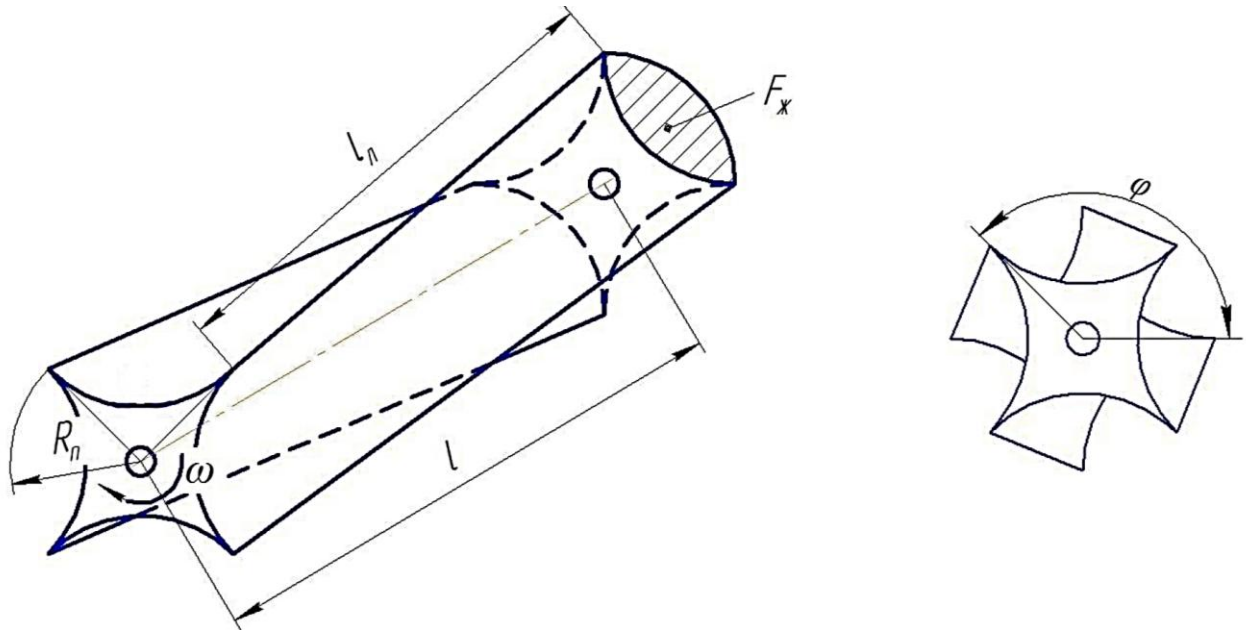


Рисунок 2.3 – Схема до визначення величини подачі пристрою живлення

Підставимо вираз (2.3) (2.1), отримаємо формулу для визначення величини подачі запропонованого нами живильного пристрою:

$$Q_{\text{п}} = 60 l_{\text{л}} R_{\text{п}}^2 \left(\frac{\pi \varphi}{180^\circ} - \sin \varphi \right) z_{\text{ж}} n_{\text{п}} \rho K_{\text{V}} K_{\text{П}}, \quad (2.4)$$

де K_{V} - коефіцієнт заповнення об'єму жолоба живильного пристрою, характеризує рівень використання об'єму жолоба, $K_{\text{V}} = 0,97$;

$K_{\text{П}}$ - коефіцієнт підпресування подрібнюваного матеріалу, залежить від виду подрібнюваного матеріалу, $K_{\text{П}} = 1,5 \dots 3$.

Графік теоретичної залежності величини подачі Q_n від частоти обертання валу живлення n_n отриманий з аналітичного виразу (2.4). Залежність величини подачі Q_n від частоти обертання валу живильного пристрою n_n для зерна кукурудзи, пшениці та ячменю представлена на рис. 2.4.

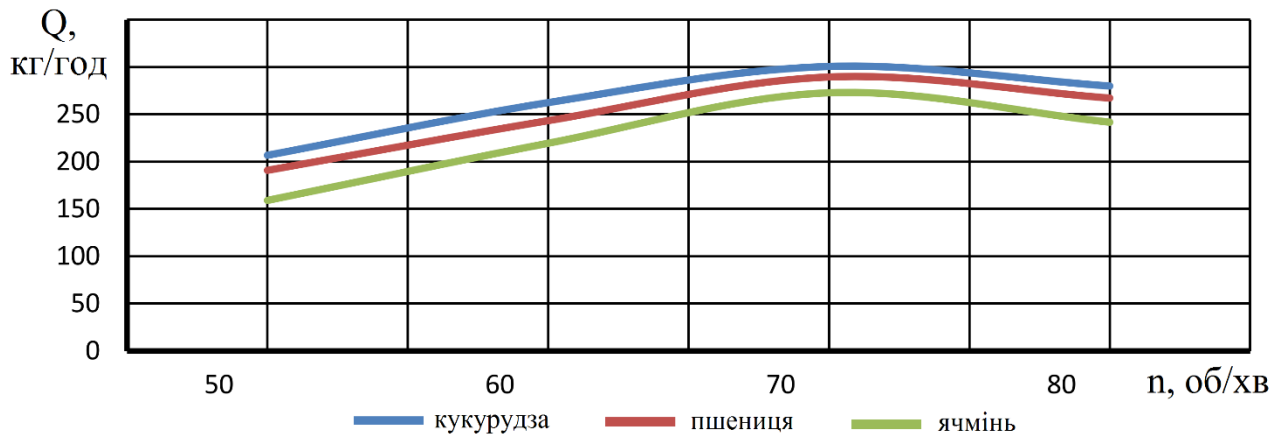


Рисунок 2.4 – Теоретична залежність величини подачі Q_n від частоти обертання валу живильного пристрою n_n

Як видно з малюнка 2.4, що зі збільшенням частоти обертання валу живлення до 70 хв^{-1} збільшується і подача. Подальше збільшення тягне у себе падіння величини подачі оскільки насипна щільність подрібнюваного матеріалу досить низька до 300 кг/м^3 , чим більша частота обертання, тим менше відбувається заповнення жолоба пристрою живлення.

2.2.2 Обґрунтування вибору конструкції пристрою живлення

З метою визначення основних конструктивно-режимних та технологічних параметрів живильного пристрою, що подає вихідний матеріал до робочих органів молоткової дробарки, виникла потреба проведення теоретичних досліджень цього процесу.

Одними з основних параметрів, що впливають на процес подачі, є: частота обертання валу живильного пристрою; швидкість введення подрібнюва-

ного матеріалу в подрібнювальну камеру; траєкторія руху частинки до робочих органів дробарки.

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

- маса матеріалу, що заповнює елементарний сектор жолоба живильного пристрою, зосереджена в одній точці і надалі розглядатиметься як рух матеріальної точки;

- частка приводиться в рух за допомогою впливу на неї лопаті жолоба живильного пристрою;

- матеріал повністю заповнює елементарний сектор жолоба.

Живильник обертається з кутовою швидкістю ω_n і подає масу подрібнюваного матеріалу до робочих органів молоткової дробарки зі швидкістю $v_{и.м.}$. Одночасно з цим ротор молоткової дробарки обертається із кутовою швидкістю ω_p . У якийсь момент часу частка досягне молотка, шарнірно закріпленого на роторі, потім її рух залежатиме від кінематичних параметрів молоткового ротора дробарки. Отже, для вивчення траєкторії руху частинки після сходу її з лопаті пристрою живлення необхідно вивчити вплив його конструктивно-режимних та технологічних параметрів на значення та напрямки швидкості введення частинок подрібнюваного матеріалу.

Розглянемо докладніше робочий процес пристрою живлення. Робочий процес пристрою живлення можна розділити на три етапи.

Перший етап - входження лопаті жолоба пристрою живлення в масу подрібнюваного матеріалу та одночасне її захоплення.

Процес відокремлення порції подрібнюваного матеріалу можна порівняти з процесом фрезерування, причому в нашому випадку, роль зубів виконують лопаті жолоба живильного пристрою. Траєкторію руху лопаті жолоба можна прийняти за дугу кола, що описується її кінцем.

У початковий момент впровадження відбувається часткове зминання та захоплення маси подрібнюваного матеріалу лопаттю жолоба пристрою жив-

лення. Руйнування та відокремлення від основної маси подрібнюваного матеріалу відбувається в горизонтальній площині від стиснення його лопаттю. Оскільки на масу, що відокремлюється, діє сила тиску P , то її горизонтальна складова P_x зменшує сили зчеплення основної маси, а вертикальна складова P_y відокремлює матеріал, що подрібнюється, від основної маси (рис. 2.5).

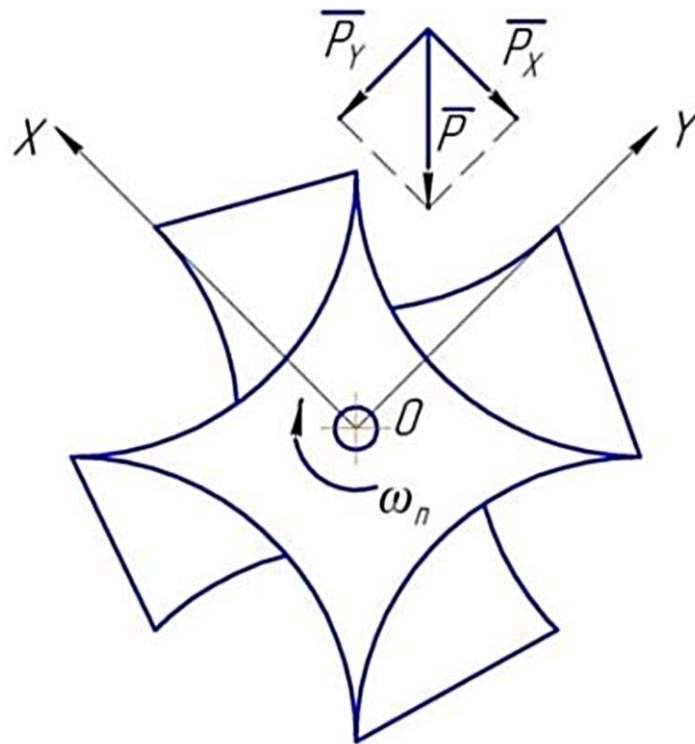


Рисунок 2.5 – Дія сили тиску на масу подрібнюваного матеріалу процесі її захоплення лопаттю пристрою живлення

Процес відділення подрібненої маси від основної та переміщення її до місця розвантаження тісно пов'язаний між собою. У процесі відділення подрібнюваного матеріалу лопаттю жолоба частина його обрушується та захоплюється наступною лопаттю.

Другий етап – переміщення порції маси подрібнюваного матеріалу лопаттю жолоба пристрою живлення щодо стінки горловини бункера до вивантажувального вікна.

Під час роботи пристрій живлення обертається з кутовою швидкістю ω_n , переміщуючи масу подрібнюваного матеріалу щодо стінки горловини бункера у бік вивантажувального вікна, при цьому відбувається часткове підпресовування матеріалу. Частинки, розташовані на зовнішній поверхні живильного пристрою, надходять до робочих органів молоткової дробарки зі швидкістю

$$v = \omega_n R_n, \quad (2.5)$$

де R_n - радіус живильного пристрою, м.

Третій етап – розвантаження подрібнюваного матеріалу з лопаті жолоба живильного пристрою до робочих органів молоткової дробарки. У міру повороту вала живильного пристрою, порція матеріалу, що заповнив жолоб, починає переміщатися вздовж його лопаті з відносною швидкістю $v_{отн}$.

Найголовнішим із трьох етапів робочого процесу живильного пристрою є процес розвантаження.

Розглянемо момент початку процесу скидання маси подрібнюваного матеріалу m з лопаті живильного пристрою. В даний момент на частинку подрібнюваного матеріалу в площині лопаті діятимуть такі сили (рис. 2.6): $G = mg$ - сила тяжіння; $F_i = m\omega_n^2 r_0$ - відцентрова сила інерції; $F_K = 2m\omega_n v_{отн}$ - Коріолісова сила інерції; $F_{тр} = f N$ - сила тертя частки по лопаті; N - сила, що притискає частинку до лопаті пристрою живлення (рівна сумі складових Коріолісової сили інерції, сили тяжіння та відцентрової сили інерції на площину, перпендикулярну площині лопаті) r_0 - відстань від осі обертання до частки подрібнюваного матеріалу; f - коефіцієнт тертя маси подрібнюваного матеріалу об лопаті жолоба живильного пристрою.

Складемо диференціальні рівняння руху точки у проекціях на осі X та Y :

$$m \frac{dv_x}{dt} = \sum F_x ;$$

$$m \frac{dv_Y}{dt} = \sum F_Y ;$$

$$\sum F_X = F_u - F_{mp} + G \sin(\alpha + \omega_n t),$$

$$\sum F_Y = N + G \cos(\alpha + \omega_n t) - F_K, \quad (2.6)$$

де $\omega_n t$ - кут повороту лопаті за час t , рад.

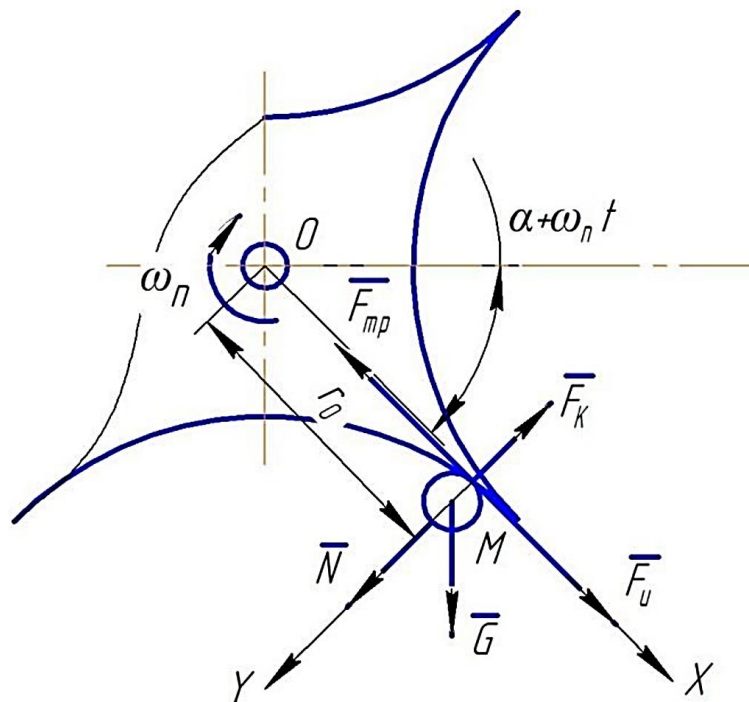


Рисунок 2.6 – Процес розвантаження подрібнюваного матеріалу з лопаті живильного пристрою

Силу, що притискає частинку до лопаті пристрою живлення N визначимо виходячи з умови, що матеріальна точка не має можливості переміщення в напрямку осі Y :

$$N = F_k - G \cos(\alpha + \omega_n t).$$

Умова скидання частинок подрібнюваного матеріалу з лопаті живильного пристрою буде мати вигляд:

$$\sum F_x \geq F_{тр},$$

де $\sum F_x$ - сума всіх сил, що діють на частку подрібнюваного матеріалу вздовж осі лопаті пристрою живлення.

$$m\omega_n^2 r_0 + mg \sin(\alpha + \omega_n t) \geq f(2m\omega_n v_{омн} - mg \cos(\alpha + \omega_n t)). \quad (2.7)$$

Після перетворення виразу (2.7) отримаємо вираз для визначення кута повороту лопаті жолоба, при якому відбувається його повне розвантаження від маси подрібнюваного матеріалу:

$$\alpha = \arcsin \left[\frac{\cos \psi (\omega_n^2 r_0 - 2f\omega_n v_{омн})}{g} \right] + \psi, \quad (2.8)$$

де ψ - кут тертя маси подрібнюваного матеріалу об лопать жолоба живильного пристрої, град.

З виразу (2.8) видно, що кут розвантаження лопаті залежить від кутової швидкості обертання живильного пристрою та коефіцієнта тертя маси подрібнюваного матеріалу об лопать жолоба пристрою живлення f .

Для визначення відносної швидкості руху маси подрібнюваного матеріалу в дробильну камеру, складемо диференціальне рівняння руху частинок матеріалу по поверхні лопаті жолоба, що з обліком усіх зовнішніх сил, що діють на неї, має вигляд:

$$m\bar{a} = \bar{F}_u + \bar{F}_K + \bar{G} + \bar{F}_{mp}, \quad (2.9)$$

Після перетворення рівняння (2.9) можна записати у вигляді:

$$ma = m\omega_n^2 \cdot r_0 + mg\sin(\alpha + \omega_n t) - 2fm\omega_n \cdot v_{omn} + fmg\cos(\alpha + \omega_n t). \quad (2.10)$$

Рівняння (2.10) складено з умов, за яких рух частки подрібнюваного матеріалу по лопаті пристрою живлення буде відбуватися в вертикальній площині, тобто у цьому випадку має місце пласка система сил. Перетворивши рівняння (2.10), отримаємо:

$$\ddot{r} + 2f\omega_n \dot{r} - \omega_n^2 r = g(\sin(\alpha + \omega_n t) + f\cos(\alpha + \omega_n t)). \quad (2.11)$$

Рівняння (2.11) є лінійним неоднорідним диференціальне рівняння 2-го порядку. Загальне рішення даного рівняння має вигляд:

$$r = r_1 + r_2, \quad (2.12)$$

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

Загальне рішення лінійного неоднорідного диференціального рівняння матиме вигляд:

$$r = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + A\sin(\alpha + \omega_n t) + B\cos(\alpha + \omega_n t) \quad (2.13)$$

Продиференціювавши рівняння (2.13), отримаємо формулу для обчислення відносної швидкості руху частинок матеріалу по лопаті живильного пристрою:

$$v = \dot{r} = C_1 k_1 e^{k_1 t} + C_2 k_2 e^{k_2 t} + A\omega_n \cos(\alpha + \omega_n t) - B\omega_n \sin(\alpha + \omega_n t). \quad (2.14)$$

2.2.3 Визначення потужності, що витрачається на процес подачі

Для розробки живильних пристроїв сипких матеріалів необхідно вибрати такий режим роботи, який забезпечує мінімальні витрати енергії. Потрібна потужність, необхідна для приводу пристрою живлення визначається з виразу:

$$P_{\text{под}} = M_{\text{кр.п}} \omega_{\text{п}} f_{\text{ц}} + P_{\text{х.х.п.}}, \quad (2.15)$$

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

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

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

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

Крутний момент на валу живильника можна визначити за формулою:

$$M_{\text{п.у.}} = Gr_0 (\sin(\alpha + \omega_{\text{п}} t) - \cos(\alpha + \omega_{\text{п}} t)), \quad (2.16)$$

де G – сила тяжіння, Н;

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

Підставимо вираз (2.16) у (2.15), отримаємо формулу для обчислення потужності, що витрачається на процес подачі подрібнюваного матеріалу

$$P_{\text{под}} = Gr_0 (\sin(\alpha + \omega_{\text{п}} t) - \cos(\alpha + \omega_{\text{п}} t)) \omega_{\text{п}} f_{\text{ц}} + P_{\text{х.х.п.}}. \quad (2.17)$$

2.3 Теоретичні дослідження процесу подрібнення

2.3.1 Теоретичне обґрунтування процесу подрібнення в зоні завантаження

Якість і ступінь подрібнення матеріалів у молоткових дробарках здебільшого визначається такими факторами:

- коловою швидкістю зовнішніх кінців молотків (тобто швидкістю удару робочої поверхні молотка по масі матеріалу, що подрібнюється);
- числом ударів (тобто числом оборотів ротора в одну хвилину).

На процес подрібнення у молоткових дробарках суттєво впливає форма робочої поверхні молотка, а також кількість матеріалу, що поступає на молоток в одиницю часу. Запас кінетичної енергії молотка, від якого залежить подрібнюючий ефект, виражається рівнянням:

$$T_M = \frac{m_M v_M^2}{2}, \quad (2.18)$$

де T_M - кінетична енергія молотка, Дж;

m_M - маса молотка, кг;

v_M - колова швидкість молотка, м/с.

Ця енергія витрачається на деформацію подрібнюваного матеріалу та на подолання опору повітря. Очевидно, найбільші втрати енергії молотка матимуть місце під час проходження його під завантажувальною горловиною (рис. 2.7).

Немає підстав стверджувати, що в даному випадку маса молотка нескінченно велика в порівнянні з масою порції матеріалу. Відповідно до теорії удару, енергія удару чи робота деформації, якщо молоток не відхиляється від напрямку руху, за умови непружного удару, буде дорівнює:

$$T_{уд} = \frac{m' m_M}{m' + m_M} \cdot \frac{v_{уд}^2}{2}, \quad (2.19)$$

де $T_{уд}$ - енергія удару, Дж;

m' - маса порції матеріалу, що бере участь у зіткненні з молотком, кг;

$v_{уд}$ – швидкість удару, м/с.

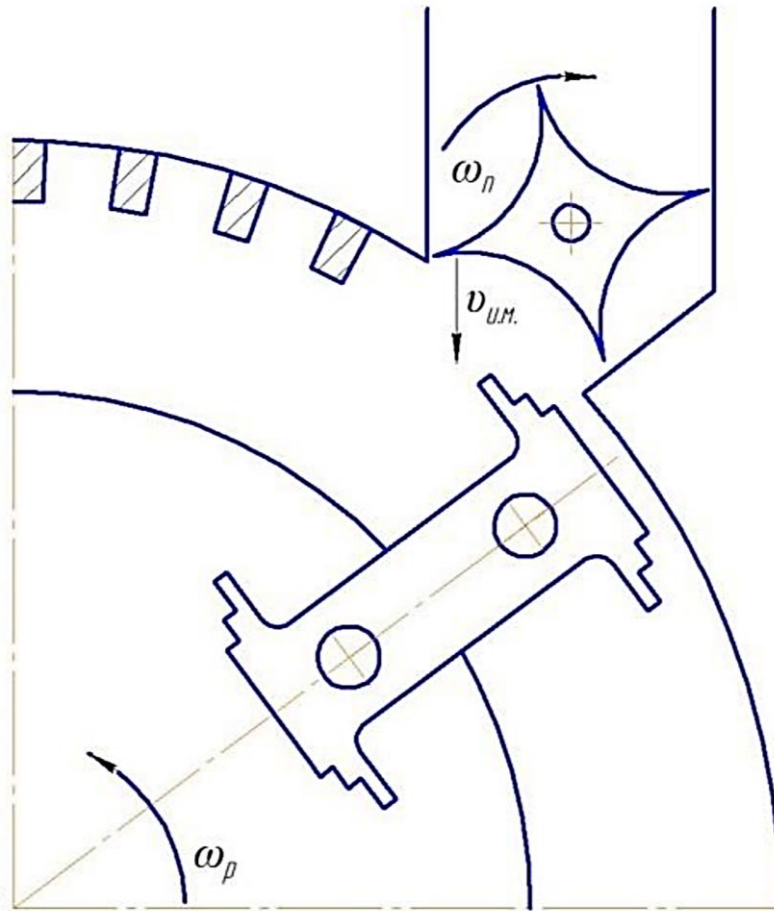


Рисунок 2.7 – Момент проходження молотка
під завантажувальною горловиною

У молоткових дробарках близько 15% енергії витрачається при подрібненні ударом, решта енергії витрачається на подрібнення стиранням. Збільшити ефективність подрібнення сипких матеріалів можливо шляхом збільшення енергії за рахунок удару, та зменшення її на стирання.

Збільшити енергію удару можна при використанні запропонованої нами конструкції молотка. Оскільки запропонований нами молоток (рисунок 2.2) має три виступи, радіуси від вершин яких до точки підвісу рівні, отже, енергія

удару кожним із виступів буде однакова, тоді вираз (2.19) можна записати в вигляді:

$$T_{уд} = z_{в} \frac{m' m_{м}}{m' + m_{м}} \cdot \frac{u_{уд}^2}{2}, \quad (2.20)$$

де $z_{в}$ – кількість виступів на робочій поверхні молотка.

Як видно з виразу (2.20), енергія удару пропонованої конструкцією молотка в порівнянні з молотком прямокутної форми збільшується в 1,5 рази, при $z_{в} = 3$, за рахунок чого можна збільшити продуктивність молоткової дробарки та знизити енергоємність процесу подрібнення.

Показники роботи молоткової дробарки залежать від конструктивних параметрів молотка як основного подрібнюючого органу, фізико-механічних властивостей подрібнюваного матеріалу, ступеня подрібнення, а якість і ефективність значною мірою – від руйнівної швидкості.

З аналізу факторів, що впливають на ефективність робочого процесу молоткової дробарки, слідує, що найважливіше значення має колова швидкість молотків. Щоб отримати в дробильній камері дійсну швидкість зіткнень молотків з часткою подрібнюваного матеріалу, що дорівнює руйнівній швидкості, колову швидкість молотків потрібно приймати вище, оскільки необхідно врахувати швидкість повітряно-продуктового шару.

Таким чином, колова швидкість молотків може бути визначена за формулою:

$$v_{м} = v_{р} + v_{ш} = v_{р} + (1 + \beta_{ш}), \quad (2.21)$$

де $\beta_{ш}$ - 0,4 ... 0,5.

2.3.2 Визначення режимних параметрів роботи нової конструкції молотка

Розглянемо взаємодію радіально розташованого молотка з часткою подрібнюваного матеріалу (рисунок 2.8). Оскільки частота обертання ротора по порівняно зі швидкістю надходження подрібнюваного матеріалу в дробильну камеру невелика, то з боку молотка по частинці, що подрібнюється, спостерігають імпульсний удар.

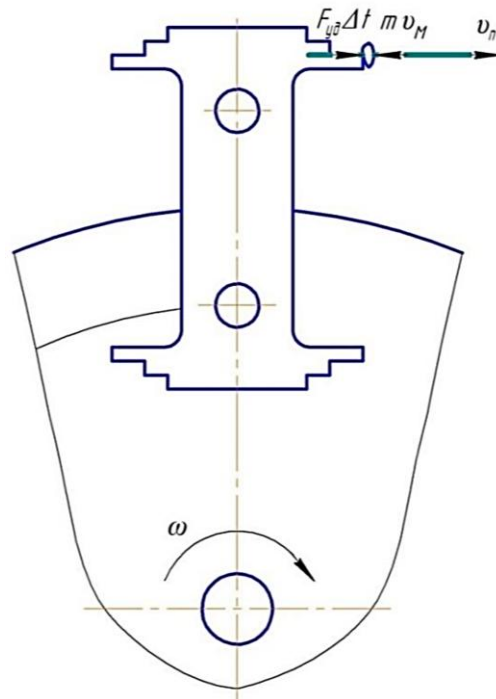


Рисунок 2.8 – Схема дії молотка на матеріал

Використовуючи теорему про імпульсні сили можна записати рівняння удару:

$$F_{уд} = \frac{m v_M}{\Delta t}, \quad (2.22)$$

де $F_{уд}$ – сила удару молотка, Н;

Δt – нескінченно малий проміжок часу взаємодії молотка з часткою, с;

m – маса подрібнюваної частинки, кг;

v_M – колова швидкість молотка, м/с.

Аналіз рівняння (2.22) показує, що зміна сили удару можлива при зміні маси частинки, або частоти обертання валу ротора молоткової дробарки. У разі відхилення молотка від радіального стану за рахунок ударів по частинкам подрібнюваного матеріалу на кут α (рисунок 2.9) рівняння (2.22) буде мати вигляд:

$$F_{\text{уд}} = \frac{m v_{\text{м}} \cos \alpha}{\Delta t}, \quad (2.23)$$

де α – кут відхилення молотка від радіального стану.

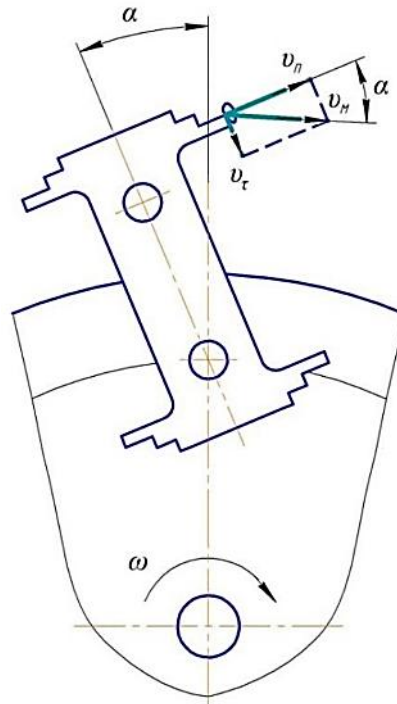


Рисунок 2.9 – Схема косоного удару

При цьому вектор колової швидкості частинки матеріалу, що подрібнюється, дорівнює за величиною швидкості точки їх дотику. Тому імпульсний удар дорівнюватиме вже добутку маси подрібнюваної частинки та нормальної складової v_n від колової швидкості v_m , у свою чергу v_n дорівнюватиме:

$$v_n = v_m \cos \alpha. \quad (2.23)$$

$$F_{\text{окр}} b = Gl + F_{\text{тр}} p + F_{\text{ц}} d, \quad (2.24)$$

де $F_{\text{окр}}$ - колова сила, що діє з боку молотка на матеріал, рівна силі опору середовища, Н;

b - плече колової сили, м;

G – сила тяжіння молотка, Н;

l - плече сили тяжіння, м;

$F_{\text{тр}}$ – сила тертя молотка щодо поверхні шарніру, Н;

p - плече сили тертя, м;

$F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила інерції, Н;

d - плече відцентрової сили інерції, м.

Силу $F_{\text{окр}}$ можна визначити, виходячи з виразу:

$$F_{\text{окр}} = \frac{k_c M_{\text{кр}}}{R z_{\text{м}}} = \frac{k_{\text{кр}} P}{R \omega_p z_{\text{м}}}, \quad (2.25)$$

де k_c – коефіцієнт опору руху молотка у повітряно-продуктовому шару продукту, $k_c = 2,5 \dots 3$;

$M_{\text{кр}}$ - крутний момент на валу молоткового ротора дробарки, Н·м;

R – відстань від осі обертання валу ротора до точки прикладення сили $F_{\text{окр}}$, м;

$z_{\text{м}}$ – кількість молотків;

P – потрібна потужність приводу ротора, Вт;

ω_p - кутова швидкість обертання ротора з молотками, с^{-1} .

Тоді мінімальний діаметр осі підвісу молотка дорівнюватиме:

$$d_o = \sqrt{\frac{4m_m \omega^2 R_{\text{ц.т.}}}{\pi k [\tau_{\text{сп}}]}}. \quad (2.26)$$

Враховуючи, що ротор з молотками обертається з великою швидкістю та наносять руйнуючі удари по масі подрібнюваного матеріалу, що безперервно надходить у дробильну камеру, для усунення зворотного удару на підшипники необхідно дотримання умови:

$$\rho^2 = cl, \quad (2.27)$$

де ρ - радіус інерції молотка щодо осі підвісу;

c - відстань від осі підвісу до центру ваги молотка, м;

l - відстань від осі підвісу до зовнішньої грані молотка, м.

За умови дотримання умови (2.27) експериментальні молотки будуть врівноважені ударом, тобто не будуть передавати реакцію ударів робочою частиною молотків на осі підвісу молотків.

2.4 Розрахунок потужності, необхідної для процес подрібнення

Відповідно до робочого процесу всередині дробильної камери молоткової дробарки, енергія, що підводиться до ротора, витрачається на подолання шкідливих опорів, а також на процес подрібнення та на переміщення маси матеріалу в дробильній камері, тобто повна потужність, що витрачається на подрібнення, визначається за формулою:

$$P = P_{\text{под}} + P_{\text{п}} + P_{\text{ц}} + P_{\text{х.х}}, \quad (2.28)$$

де $P_{\text{под}}$ - потужність, що витрачається на процес подачі подрібнюваного матеріалу до робочим органам молоткової дробарки, кВт;

$P_{\text{п}}$ – потужність, що витрачається безпосередньо на подрібнення матеріалу, кВт;

$P_{ц}$ – потужність, що витрачається на циркуляцію повітряно-продуктового шару, кВт;

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

Витрата потужності на процес подачі подрібнюваного матеріалу до робочих органів молоткової дробарки визначається за формулою (2.17).

Витрата потужності на подрібнення визначається за такою формулою:

$$P_{п} = QA_{п}, \quad (2.29)$$

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

Сума потужностей на циркуляцію $P_{ц}$ і холостий хід $P_{х.х}$ вибирається за практичними даним у розмірі 15...20% від потужності на подрібнення $P_{п}$:

$$P_{ц} + P_{х.х} = (0,15 \dots 0,2) P_{п}. \quad (2.30)$$

Енергоємність процесу подрібнення в молотковій дробарці з урахуванням ступеня подрібнення та якості готового продукту розраховується за наступною формулою:

$$E = PK_{к} / Q\lambda, \quad (2.31)$$

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

Q – продуктивність молоткової дробарки, кг/год;

λ - ступінь подрібнення;

$K_{к}$ – коефіцієнт якості готового продукту, що характеризує відношення недоподрібненої і переподрібної маси матеріалу до загальної маси готового продукту.

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

2.5 Висновки

На підставі теоретичних досліджень процесу подрібнення зерна модернізованою конструкцією молоткової дробарки можна зробити такі висновки:

1. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему молоткової дробарки, що включає живильний пристрій барабанного типу з жолобами, протилежні сторони яких повернені щодо один одного та молотки, робоча поверхня яких виконана в вигляді трьох виступів радіуси від вершин яких до осі підвісу рівні.

2. Отримані вирази для визначення продуктивності запропонованої конструкції пристрою живлення, для визначення кута повороту лопаті жолоба, при якому відбувається його повне розвантаження від маси подрібнюваного матеріалу, для визначення відносної швидкості руху маси подрібнюваного матеріалу по лопаті живильного пристрою, закон руху маси подрібнюваного матеріалу до робочої поверхні молотка.

3. Отримані вирази для визначення кінетичної енергії удару запропонованої конструкцією молотка. Були отримані умови, що дозволяють забезпечити стійку рівновагу молотка, при якому він не відхилятиметься від радіального положення: кутова швидкість обертання ротора з молотками та мінімальна маса молотків. Були отримані вирази для визначення продуктивності молоткової дробарки та енергоємності процесу подрібнення з урахуванням ступеня подрібнення та якості готового продукту.

3 Експериментальні дослідження подрібнювача

3.1 Програма, методи досліджень

З метою перевірки теоретичних даних та визначення раціональних режимів роботи молоткової дробарки була розроблена програма експериментальних досліджень:

1. Розробка, обґрунтування параметрів та виготовлення робочої моделі молоткової дробарки з пристроєм живлення барабанного типу з жолобами, протилежні сторони яких повернені щодо один одного.

2. Визначення оптимального розташування живильного пристрою для найбільш ефективного процесу подачі подрібнюваного матеріалу.

3. Отримання залежностей впливу колової швидкості молотків на якісні та енергетичні показники роботи молоткової дробарки.

4. Отримання залежностей впливу подачі на якісні та енергетичні показники роботи молоткової дробарки.

Для підтвердження та перевірки теоретичних залежностей, а також подальшого вивчення процесу подрібнення зерна у молотковій дробарці на кафедрі «механізація виробничих процесів у тваринництві» ДДАЕУ було розроблено та виготовлено лабораторну установку. Загальний вигляд лабораторної установки представлена на рис. 3.1.

При розробці та виготовленні лабораторної установки враховувалися такі вимоги:

- можливість регулювати конструктивно-режимні та технологічні параметри роботи у широких межах варіювання;
- можливість швидкого складання та розбирання основних вузлів молоткової дробарки;
- можливість зняття вхідних та вихідних параметрів роботи за допомогою простих та надійних пристроїв.

Лабораторна установка виконана з можливістю зміни частоти обертання вала живильного пристрою і вала ротора молоткової дробарки при за допомогою регуляторів, встановлених на панелі керування.



Рисунок 3.1 – Загальний вид лабораторної установки

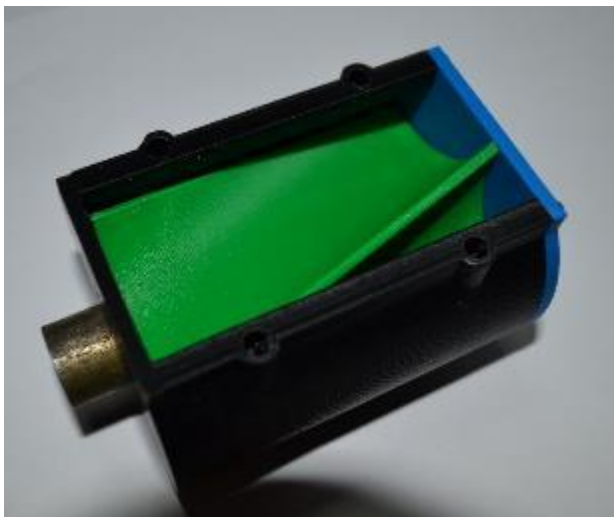


Рисунок 3.2 – Пристрій живлення та загальний вид ротора у зборі

У ході проведення експериментів був комплект змінних решіт отворами різного діаметру, які встановлювалися для своєчасного виведення подрібнено-

го матеріалу із заданим гранулометричним складом з дробильної камери молоткової дробарки.

Основні технічні характеристики експериментальної молоткової дробарки представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики лабораторної установки

№ зп	Показники	Значення
1.	Діаметр пристрою живлення, мм	50
2.	Довжина живильного пристрою, мм	70
3.	Частота обертання вала живильного пристрою, хв^{-1}	60...90
4.	Подача подрібнюваного матеріалу, кг/год	250...300
5.	Діаметр ротора по кінцях молотків, мм	250
6.	Ширина ротора, мм	65
7.	Частота обертання ротора, хв^{-1}	1600...2800
8.	Кількість молотків, шт	20
9.	Товщина молотків, мм	3
10.	Колова швидкість молотків, м/с	30...45
11.	Зазор між поверхнею решета та кінцями молотків, мм	5...10
12.	Продуктивність молоткової дробарки, кг/год	250...300
13.	Потужність електродвигуна дробарки, кВт	2,2

3.2 Результати дослідження робочого процесу живильного пристрою

3.2.1 Вплив частоти обертання пристрою живлення на рівномірність подачі подрібнюваного матеріалу

Для забезпечення нормального технологічного процесу подрібнення, потік матеріалу, що виходить з пристрою живлення повинен мати необхідну рівномірність. Рівномірність потоку подрібнюваного матеріалу забезпечує зниження енергоємності процесу подрібнення, збільшення продуктивності, а також знижуються динамічні навантаження на ротор з молотками.

Враховуючи фізико-механічні властивості подрібнюваного матеріалу, була поставлено серію дослідів з виявлення залежності рівномірності Δq подачі подрібнюваного матеріалу до робочих органів молоткової дробарки від частоти обертання n_n валу пристрою живлення (рис. 3.3).

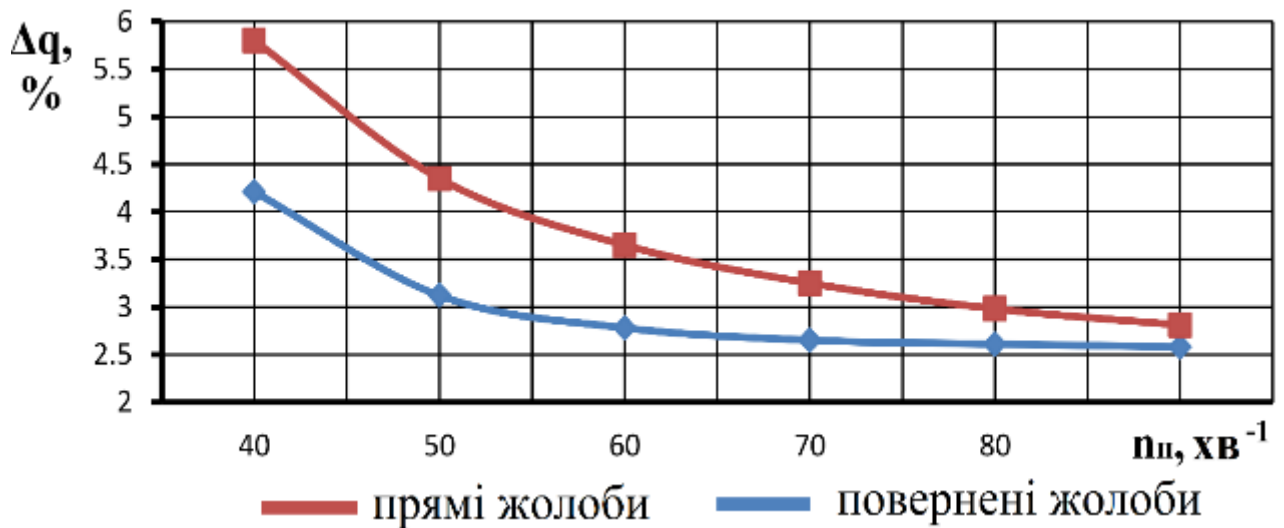


Рисунок 3.3 – Залежність рівномірності подачі подрібнюваного матеріалу Δq від частоти обертання валу живильного пристрою n_n (ячмінь)

Аналіз залежності нерівномірності подачі подрібнюваного матеріалу Δq від частоти обертання валу живильного пристрою показує, що пропонується конструкція пристрою живлення забезпечує рівномірність потоку подрібнюваного матеріалу до робочих органів молоткової дробарки при менших частотах обертання порівняно з живильником із жолобами прямої форми. Для подальших досліджень застосовуємо живильник із жолобами, протилежні сторони яких повернені щодо один одного.

3.2.2 Вплив способу розташування пристрою живлення на ефективність подачі подрібнюваного матеріалу

Якісне подрібнення зерна до необхідного гранулометричного складу нерозривно пов'язане з процесом його подчі до робочих органів дробарки. Для проведення експериментальних досліджень була виготовлена лабораторна установка з поздовжнім та поперечним розташуванням пристрою живлення щодо валу молоткового ротора дробарки. Вплив способу розташування пристрою живлення відносно валу ротора представлені рис. 3.4, 3.5.

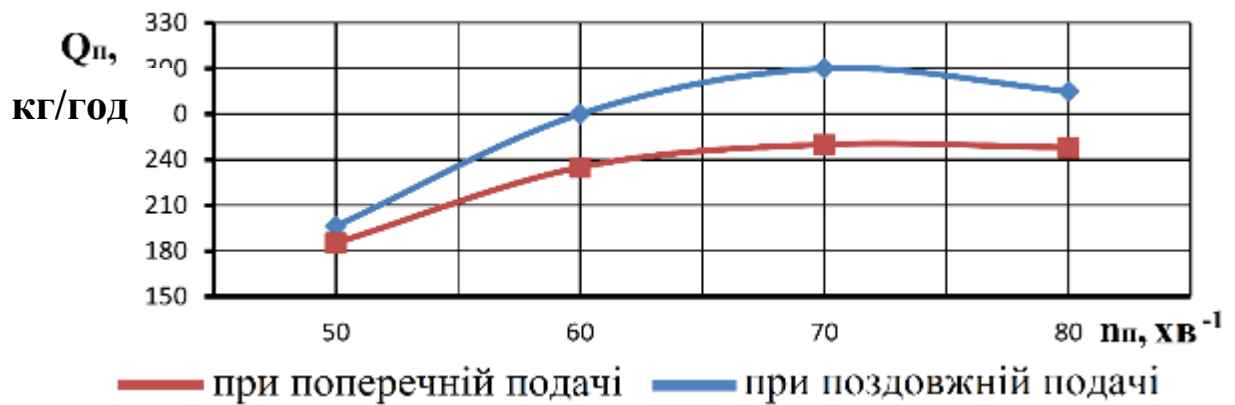


Рисунок 3.4 – Залежність величини подачі Q_p подрібнюваного матеріалу від частоти обертання вала живильного пристрою n_p при $D_p = 0,05$ м

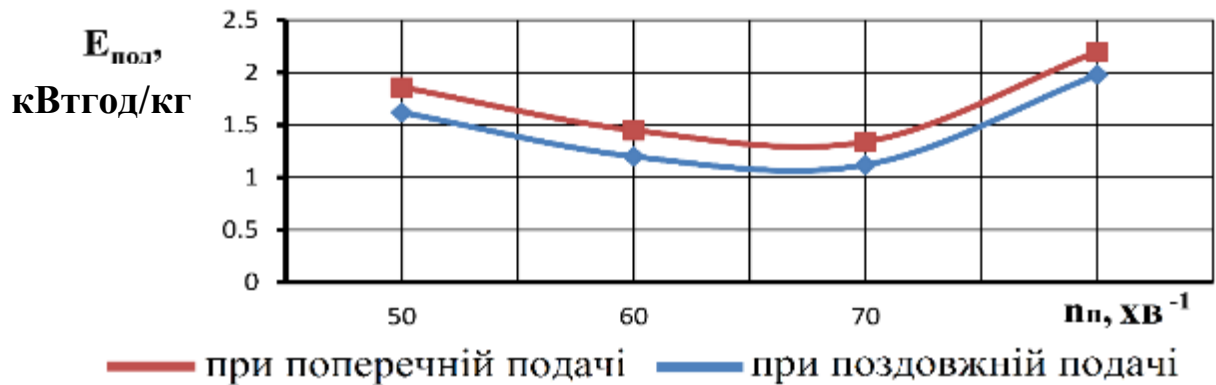


Рисунок 3.5 – Залежність енергоємності процесу подачі $E_{под}$ від частоти обертання вала живильного пристрою n_p при $D_p = 0,05$ м

Як видно з поданих залежностей, подовжнє розташування живильного пристрою забезпечує збільшення величини подачі подрібнюваного матеріалу на 8...12%, а також зниження енергоємності процесу подачі на 7... 10 %, у по-

рівнянні з поперечним, при частоті обертання валу пристрою живлення 70 хв^{-1} . Також із залежностей 3.4 і 3.5 видно, що зі збільшенням частоти обертання валу пристрою живлення більше 70 хв^{-1} відбувається зниження величини подачі подрібнюваного матеріалу за рахунок зменшення заповнення жолобів живильного пристрою, що спричиняє збільшення енергоємності процесу подачі.

3.3 Результати обґрунтування конструктивно-режимних параметрів роботи молоткового ротора

3.3.1 Дослідження впливу форми молотків на продуктивність та енергоємність процесу подрібнення

На продуктивність молоткової дробарки крім впливу фізико-механічних властивостей та величини подачі подрібнюваного матеріалу також мають значний вплив і робочі органи. На рис. 3.6 представлені залежності продуктивності молоткової дробарки від колової швидкості молотків, які показують, що молотки зі ступінчастою формою робочої поверхні забезпечують продуктивність молоткової дробарки на 20 % більше в порівнянні з прямокутними при коловій швидкості молотків, що дорівнює 40 м/с.

На рис. 3.7 представлена залежність енергоємності процесу подрібнення зерна від колової швидкості молотків. З цього графіка видно, що у межах зміни колової швидкості від 25...35 м/с енергоємність достатньо висока, це пояснюється тим, що швидкість молотків недостатня для руйнування подрібнюваного матеріалу.

При значенні колової швидкості молотків 40 м/с енергоємність процесу кожного виду подрібнюваного матеріалу приймає мінімальне значення, тобто колова швидкість є оптимальною.

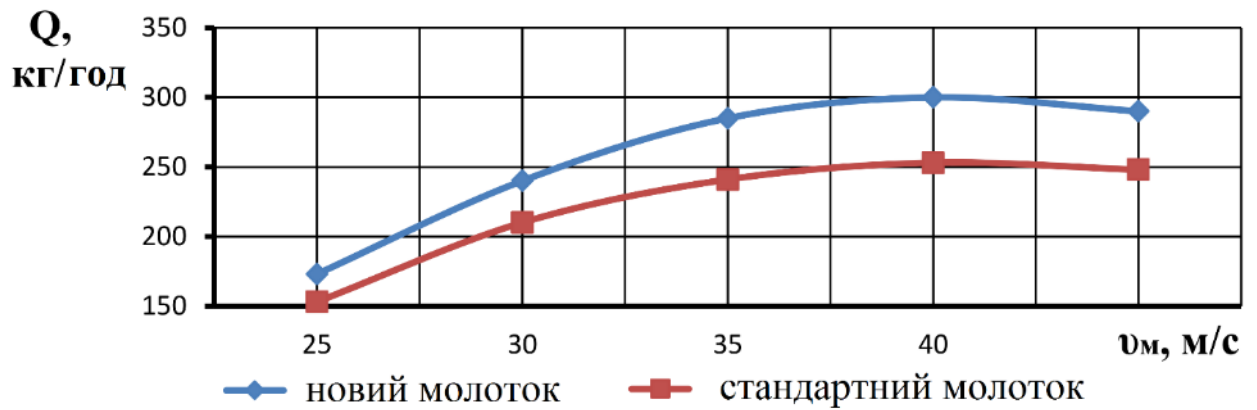


Рисунок 3.6 – Залежність продуктивності Q молоткової дробарки від колової швидкості молотків v_M

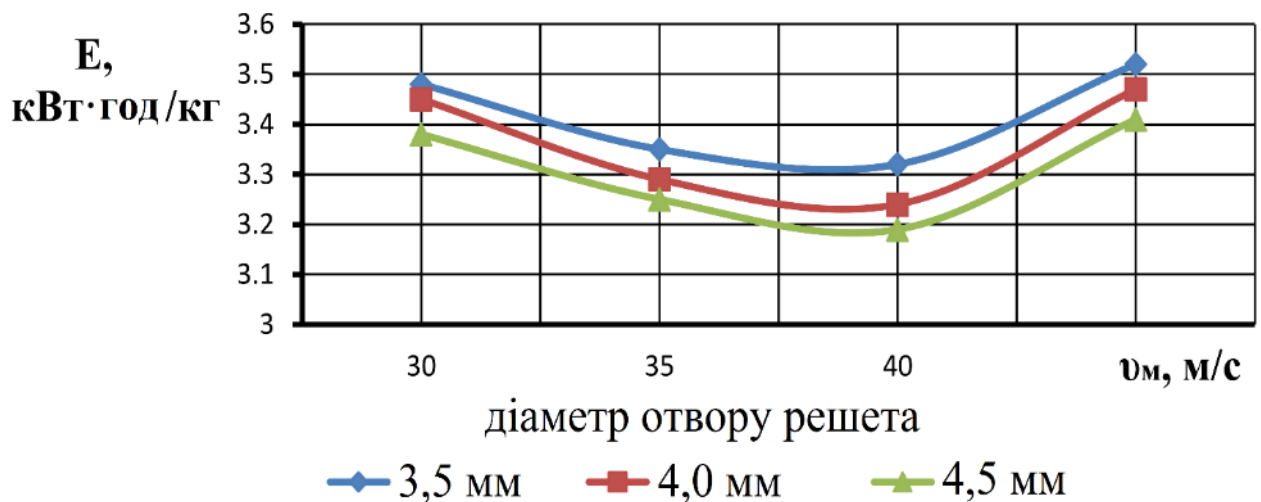


Рисунок 3.7 – Залежність енергоємності процесу подрібнення E від колової швидкості молотків v_M

Це пов'язано з тим, що в дробильній камері відбувається руйнування матеріалу під дією ударів молотків та видалення подрібнених частинок через решето. Зі збільшенням колової швидкості молотків понад 40 м/с енергоємність починає зростати за рахунок збільшення витрат енергії на холостий перебіг.

3.3.2 Дослідження впливу колової швидкості молотків на модуль помелу готового продукту

Проведення експериментальних досліджень дозволили встановити вплив колової швидкості молотків на модуль помелу готового продукту (рис. 3.8).

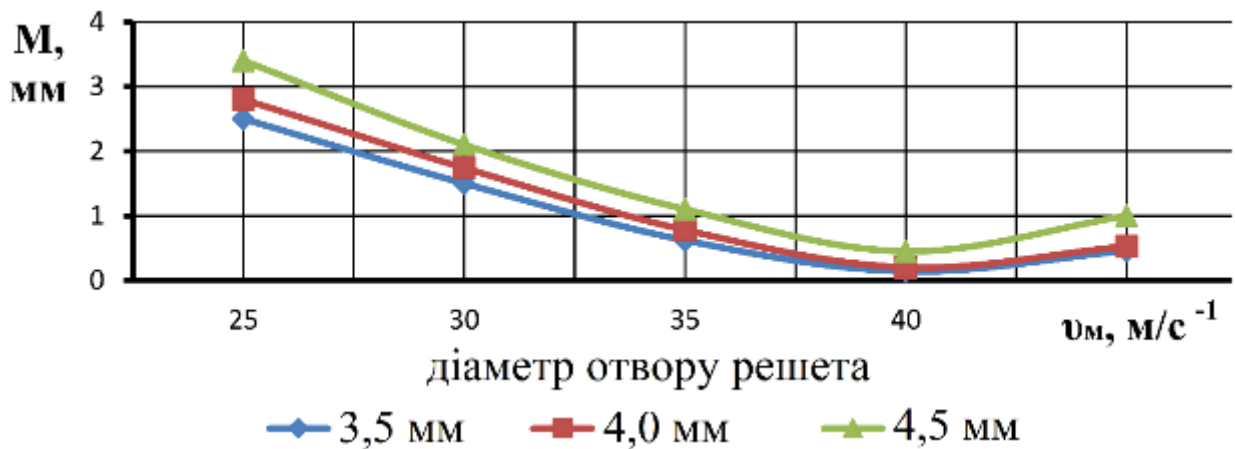


Рисунок 3.8 – залежність модуля помелу M готового продукту від колової швидкості молотків v_m

Аналіз залежності модуля помелу готового продукту від колової швидкості молотків показує, що при досягненні оптимальної колової швидкості молотків 40 м/с модуль помелу зменшується, подальше збільшення колової швидкості веде до збільшення модуля помелу через сильний вентиляційний ефект на подрібнювану масу.

3.4 Висновки

Виходячи з результатів проведених експериментальних досліджень сформульовані основні висновки:

1. За результатами експериментальних досліджень було вибрано поздовжнє розташування пристрою живлення щодо валу ротора дробарки при якому величина подачі збільшується на 5...7%, а енергоємність процесу подачі знижується на 7...10 %.

2. Мінімальна енергоємність процесу подачі подрібнюваного матеріалу, що дорівнює 1,12...1,21 кВт·год/кг досягається при частоті обертання n_n 60 ... 70 хв^{-1} і діаметрі D_n барабана живильного пристрою дорівнює 0,05 м, при цьому величина подачі подрібнюваного матеріалу становить 250...300 кг/год.

3. При значенні колової швидкості молотків 40 м/с енергоємність процесу кожного виду подрібнюваного матеріалу приймає мінімальне значення, тобто колова швидкість в даних межах є оптимальною.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Загальні визначення та поняття

Праця сільському господарстві охороняється як нормами загального трудового права, і специфічними нормами аграрного права. Зі сказаного вище можна зробити висновок, що за охороною праці та здоров'я працівників сільського господарства стежить правове законодавство, яке забезпечує відповідні умови праці, безпеку життя та здоров'я працівників при виконанні ними своїх трудових функцій, умови, що сприяють оздоровленню працівників та ін.

Охорона праці має низку дуже важливих значень для працівників: правове, економічне та соціальне. Соціальне значення охорони праці пояснюється правами людини на життя, свободу, вільне використання своїх здібностей та майна для комерційної діяльності, право мати приватну власність, право вільно розпоряджатися своїми здібностями до праці тощо.

Правове значення охорони праці - це передусім дотримання законів та інших нормативних актів про охорону праці як роботодавцем, і працівником. Загальні вимоги щодо охорони праці та здоров'я працівників, встановлені державою, не залежать від організаційно-правової форми підприємства [34].

Правове регулювання охорони праці та здоров'я працівників проводиться на основі законів, підзаконних актів, законодавства суб'єктів України, трудового договору, колективного договору, правил внутрішнього розпорядку, прийнятих на кожному сільськогосподарському підприємстві та інших локальних нормативних актів.

Ефективне функціонування системи охорони праці сільському господарстві визначається правильним підходом до оцінки умов праці та ризиків у цій галузі [35]. Більшість сільськогосподарських робіт проводиться на відкритому повітрі, відповідно впливають на організм людини такі фактори, як тем-

пература повітря, вологість, запиленість, і як наслідок різні алергічні реакції. Частий контакт з хімічними добривами та отрутохімікатами призводить до отруєнь.

Специфіка робіт полягає також у їхній різній інтенсивності щодо часу доби та сезонів, звідси нерівномірні навантаження на організм людини і, як наслідок, переважно. Це призводить до підвищеного травматизму. Умови праці безпосередньо пов'язані з рівнем механізації та технологій виробництва. Прикладів небезпечних та шкідливих факторів, що призводять до втрати здоров'я та профзахворювань у сільському господарстві дуже багато.

Все це вимагає створення спеціальних служб з охорони праці в сільському господарстві, які мають стежити за умовами праці, гігієною праці, розробляти та впроваджувати відповідні норми та заходи для усунення всіх ризиків.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при подрібненні зерна

При переробці сільськогосподарської продукції і, зокрема подрібненні зернових кормів, на працівників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори [36]:

- 1) робота машин та механізмів;
- 2) частини виробничих машин, що рухаються, які не укомплектовані захисними пристроями;
- 3) висока чи низька температура поверхонь самого обладнання чи матеріалів;
- 4) підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може пройти через тіло людини;
- 5) нерівна, шорстка поверхня обладнання, інструментів та заготовок, яка може бути з гострими кромками та задирками;
- 6) умови праці, коли робоче місце розташоване на певній висоті від підлоги;

- 7) наявність несправностей засобів доступу до робочого місця (сходів, майданчиків, огорож тощо);
- 8) слизькі опорні поверхні;
- 9) наявність пошкоджень ізоляції електропроводки на ручних електрифікованих інструментах та інших електричних установках;
- 10) несправності у накопичувальних бункерах, зламані решітки на завальних ямах;
- 11) вологість та (або) рухливість повітря, відмінна від нормальної;
- 12) недостатнє освітлення робочої зони як штучне так і природне.

Всі приведені вище фактори можуть мати місце при роботі розробленої в дипломі молоткової дробарки зерна, тому нам треба спланувати захист оператора від дії вказаних факторів.

4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів

Перед дробаркою має бути встановлений магнітний захист в відповідності до чинних правилами організації та ведення технологічного процесу для запобігання потраплянню в робочу зону магнітних домішок, які можуть викликати аварію або іскріння та вибух. Завантажувальний бункер дробарки має захисну решітку з розміром комірок 20x20 мм для запобігання потраплянню сторонніх предметів.

Ротор дробарки статично відбалансований в зібраному вигляді. Молотки надійно закріплені, не мають тріщин або інших дефектів. Молотки не повинні зачіпати за деку і решето, щоб уникнути іскріння.

Робота проекрованої дробарки з підвищеною вібрацією та іншими несправностями не допускається. Пуск дробарки здійснюється тільки в незавантаженому стан після ретельної перевірки відсутності в ній сторонніх предметів.

До пуску в роботу слід перевірити укомплектованість, кріплення та стан молотків на роторі та цілісність решіт. При появі стуку чи інших несправностей машина повинна бути негайно зупинена для виявлення та усунення причин несправності. При пуску дробарка має бути спочатку пропущена вхолосту, потім з поступовим завантаженням до необхідної. При цьому мають бути вжиті заходи проти зворотного викиду продукту. Молоткова дробарка встановлюється на віброізолюючих основах.

Привід дробарки повинен вимикатися при перевантаженні робочих органів. Дробарка повинна мати пристрої аварійного відключення, що виключають можливість травмування працівників у разі порушення режиму роботи дробарки або виникнення несправностей.

4.4 Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна

До роботи на дробарці допускаються особи не молодші 18 років, визнані придатними до цієї роботи медичною комісією, які пройшли навчання за навчальною програмою, що мають посвідчення на право виконання даної роботи. Працівник, що надходить на роботу, повинен пройти вступний інструктаж за безпечними методами та прийомами праці, екологічними вимогами, а також первинний інструктаж на робочому місці, про що мають бути зроблені відповідні записи в журналах з обов'язковим підписом інструктованого та інструктуючого. Працівник після первинного інструктажу на робочому місці та перевірки знань протягом перших 3 - 5 змін (залежно від стажу, досвіду та характеру роботи) виконують роботу під наглядом бригадира або майстра, після чого оформляється допуск їх до самостійної роботи. Допуск до самостійної роботи фіксується датою та підписом інструктуючого у журналі реєстрації інструктажу.

Перед початком роботи оператор дробарки згідно з [37] зобов'язаний:

- одягнути спецодяг та спецвзуття, підготувати засоби індивідуального захисту, перевірити їх справність;

- ознайомитись з умовами роботи попередньої зміни;
- отримати на робочому місці точні та конкретні вказівки від бригадира (майстра) щодо виконання завдання, безпечних прийомів та методів праці;
- ознайомитись із технологічною картою виконання робіт.

Перевірити:

- справність освітлення;
- наявність та справність комплекту інструментів та приладдя;
- наявність необхідних засобів пожежогасіння та надання першої долікарської допомоги. Перед пуском дробарки оператор зобов'язаний перевірити:
 - справність звукової та світлової сигналізації;
 - наявність та цілісність заземлення шляхом зовнішнього огляду;
 - справність системи обезпилювання;
 - стан кріплення болтових з'єднань всіх частин та вузлів, фундаментних болтів.

Не допускається обробка зерна та інших продуктів без очищення від металевих та інших сторонніх домішок. Молоткову дробарку пустити вхолосту, попередньо переконавшись у відсутності людей у площині обертання ротора та поблизу викидної горловини, подавши попереджувальний сигнал. Після виходу двигуна на номінальні обороти повільно відкрити засувку на живильному бункері, забезпечуючи рівномірність подачі подрібнюваного продукту. Засипаючі в бункері сипучі (зерно, гранули) і засипають у приймальній горловині несипкі продукти звільнити за допомогою прошовхувача довжиною не менше 1 м, виконаного з деревини або пластмаси, що легко руйнуються у разі захоплення. Забороняється до повної зупинки двигуна машини відкривати люки шлюзових затворів, знімати кожухи, змащувати, підтягувати різьбові з'єднання і проводити всі види технічного обслуговування. Під час ремонту користуватися лише справним інструментом. При кожній зупинці видаляти борошняний пил з машини, обладнання. Періодично проводити вологе прибирання та провітрювання приміщення, повітря зволожувати, відновлювати герметичність повітроводів.

По завершенні роботи припинити послідовно роботу живильників, дозаторів і вивести подрібнювач на холостий хід, закрити заслінки, що живлять, і вимкнути двигун. Вимкніть електричні двигуни, натиснувши на червону кнопку і витягніть вилку з розетки. Після зупинки очистити машину та робоче місце від залишків продукту, оглянути та усунути помічені недоліки. Про серйозні недоліки (порушення регулювання, знос деталей тощо) повідомити керівника робіт (бригадира), змінника. Інструмент та пристрої (проштовхувач, чистити тощо) прибрати в шафу, здати на зберігання або замінику. Зняти спецодяг та засоби індивідуального захисту, прийняти душ.

При появі сторонніх шумів, запаху гару, диму, виявленні несправностей, іскріння електрообладнання, появі електричної напруги на деталях, підвищення нагрівання поверхні підшипників, редукторів, інших частин машин, порушення цілісності захисних пристроїв негайно зупинити подрібнювач: натисніть на червону кнопку, витягніть з розетки вилку та повідомте керівника робіт. Після аварійної зупинки машина має бути звільнена від продукту. У разі травмування вжити заходів щодо надання долікарської допомоги потерпілому, звернутися за допомогою до медичного працівника та сповістити керівника робіт.

4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Однією з можливих надзвичайних ситуацій в Дніпрі може бути гідродинамічна аварія - подія, пов'язана з виходом з ладу (руйнуванням) дамби Кам'янського водосховища, і некерованим переміщенням великих мас води, що несуть руйнування і затоплення великих територій. Тому розглянемо порядок дій при її виникненні.

При отриманні інформації про загрозу затоплення та евакуацію невідкладно, в установленому порядку виходьте (виїжджайте) з небезпечної зони до призначеного безпечного району або на високі ділянки місцевості. Візьміть із собою документи, цінності, предмети першої необхідності та запас продуктів на 2-3 доби. Частину майна, яке потрібно зберегти від затоплення, але не

можна взяти із собою, перенесіть на горище, верхні поверхи будівлі, дерева тощо.

Перед виходом з будинку вимкніть електрику та газ, щільно закрийте вікна, двері, вентиляційні та інші отвори.

При раптовому затопленні для порятунку від удару хвилі прориву терміново займіть найближче піднесене місце, заберіть на велике дерево або верхній поверх стійкої будівлі. У разі знаходження у воді, при наближенні хвилі прориву пірніть у глибину біля основи хвилі.

При підтопленні вашого будинку відключіть його електропостачання, подайте сигнал про перебування у будинку (квартирі) людей шляхом вивішування з вікна вдень прапора з яскравої тканини, а вночі – ліхтаря. Для отримання інформації використовуйте радіо з автономним живленням. Найбільш цінне майно перемістіть на верхні поверхи та горища. Організуйте облік продуктів харчування та питної води, їх захист від впливу води, що прибуває, та економне витрачання.

Готуючись до можливої евакуації по воді, візьміть документи, предмети першої необхідності, одяг та взуття з водовідштовхуючими властивостями, підручні рятувальні засоби (надувні матраци, подушки).

Не намагайтеся евакуюватись самостійно. Це можливо тільки при видимості незатопленої території, загрозі погіршення обстановки, необхідності отримання медичної допомоги, витратах продуктів харчування та відсутності перспектив отримання допомоги з боку.

4.6 Висновки

Приведено основні визначення та поняття щодо охорони праці в сільському господарстві. Визначено, які саме небезпечні чинники виникають при подрібненні зерна, запропоновано ряд заходів для запобігання та уникнення дії визначених чинників. Розроблено порядок безпечної роботи при подрібненні зерна та порядок дій при виникненні гідродинамічної аварії.

5 Економічна оцінка розробленої дробарки

Розроблений подрібнювач є малогабаритним, тому найбільш можливе його застосування – мала приватна ферма. У зв'язку з цим, порівнювати розроблену дробарку будемо з найближчим аналогом за призначенням, а саме зернодробарка Bosch BFS 4200.

Так як переваги розробленої дробарки мають технічний характер (вища продуктивність, менша потужність) порівняння будемо проводити за експлуатаційними витратами, не враховуючи якісні характеристики отриманих кормів – однорідність подрібнення. Визначення експлуатаційних витрат проведемо за наступною методикою.

Витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$Z = n \cdot t \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.;

f – годинна тарифна ставка одного працівника, грн/год.;

t – тривалість роботи машини на добу, год.;

D – кількість робочих днів на рік;

δ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

Тривалість роботи машини на добу визначимо виходячи з добової потреби в фуражі для ферми на 100 свиней.

$$t = \frac{G_{\text{доб}}}{Q_{\text{д}}} = \frac{n \cdot g}{Q_{\text{д}}}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де $G_{\text{доб}}$ - добова потреба в фуражі, кг;

$Q_{\text{д}}$ – продуктивність дробарки, кг/год.

n – поголів'я свиней на фермі, гол;

g – добова потреба в кормі, кг/гол.

Амортизаційні відрахування

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де B – балансова вартість дробарки, грн.

α – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %.

Відрахування на ремонт і технічне обслуговування дробарки

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де β – коефіцієнт відрахувань на ремонт та ТО, %.

Витрати на електроенергію визначимо за формулою

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де N – потужність дробарки, кВт.;

c_e – вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Загальні експлуатаційні витрати складуть

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Економія експлуатаційних витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де EB_1, EB_2 – експлуатаційні витрати для Bosch BFS 4200 та розробленої дробарки відповідно, грн.

Термін окупності нової дробарки

$$P = \frac{B_2 - B_1}{EEB}, \text{ грн.,} \quad (5.8)$$

де B_1, B_2 – балансова вартість Bosch BFS 4200 та проектної дробарки, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності дробарки

№ з.п.	Показник	Bosch BFS 4200	дробарка за розробкою
1	2	3	4
1.	Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2.	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365
4.	Поголів'я свиней на приватній фермі, гол.	100	100
5.	Добова потреба в кормі, кг/гол.	2,8	2,8
6.	Добова потреба в кормі по фермі, кг	280	280

7.	Продуктивність дробарки, кг/год	280	300
8.	Тривалість роботи машини на добу, год.	1,00	0,93
9.	Балансова вартість машини, грн.	3600	6400
1	2	3	4
10.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,32	2,32
13.	Потужність на привід, кВт	4,2	2,2
14.	Витрати на заробітну плату, грн.	24135,26	22526,24
15.	Амортизаційні відрахування, грн.	360,00	640,00
16.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	288,00	512,00
17.	Витрати на електроенергію, грн.	3556,56	1738,76
18.	Експлуатаційні витрати, грн.	28339,82	25417,01
19.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	2922,81
20.	Термін окупності нового змішувача, років	-	0,96

Висновки

Як свідчить економічна оцінка нової дробарки зерна при роботі на малій фермі з поголів'ям 100 свиней він має нижчі значення експлуатаційних витрат в порівнянні з аналогом завдяки вищій продуктивності та меншій потужності на привід. Річна економія експлуатаційних витрат склала 2922,81 грн. а термін окупності удосконалення 0,96 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз існуючих подрібнювальних машин показав, що основними машинами для подрібнення різних сільськогосподарських матеріалів є молоткові дробарки. Існуючі в даний час конструкції молоткових дробарок мають середню продуктивність та велику енергоємність процесу подрібнення. Рівномірне подання матеріалу до робочих органів молоткової дробарки дозволяє підвищити якість подрібнення. З метою виявлення найбільш перспективної конструктивно-технологічної схеми пристрою живлення провели їх аналіз, який показав, що живильники барабанного типу з жолобами, виконаними по гвинтовій лінії, найбільш повно задовольняють пропонованим до них вимог.

2. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему молоткової дробарки, що включає живильний пристрій барабанного типу з жолобами, протилежні сторони яких повернені щодо один одного та молотки, робоча поверхня яких виконана в вигляді трьох виступів радіуси від вершин яких до осі підвісу рівні. Отримані вирази для визначення продуктивності запропонованої конструкції пристрою живлення та умови, що дозволяють забезпечити стійку рівновагу молотка, при якому він не відхилятиметься від радіального положення: кутова швидкість обертання ротора з молотками та мінімальна маса молотків.

3. За результатами експериментальних досліджень було вибрано поздовжнє розташування пристрою живлення щодо валу ротора дробарки при якому величина подачі збільшується на 5...7%, а енергоємність процесу подачі знижується на 7...10 %. Мінімальна енергоємність процесу подачі подрібнюваного матеріалу, що дорівнює 1,12...1,21 кВт·год/кг досягається при частоті обертання n_n 60 ... 70 хв^{-1} і діаметрі D_n барабана живильного пристрою дорів-

нює 0,05 м, при цьому величина подачі подрібнюваного матеріалу становить 250...300 кг/год.

4. Приведено основні визначення та поняття щодо охорони праці в сільському господарстві. Визначено, які саме небезпечні чинники виникають при подрібненні зерна, запропоновано ряд заходів для запобігання та уникнення дії визначених чинників. Розроблено порядок безпечної роботи при подрібненні зерна та порядок дій при виникненні гідродинамічної аварії.

5. Як свідчить економічна оцінка нової дробарки зерна при роботі на малій фермі з поголів'ям 100 свиней він має нижчі значення експлуатаційних витрат в порівнянні з аналогом завдяки вищій продуктивності та меншій потужності на привід. Річна економія експлуатаційних витрат склала 2922,81 грн. а термін окупності удосконалення 0,96 роки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Глебов, Л.А. Оценка эффективности работы дробилок [Текст] / Л.А. Глебов, С.В. Зверев, А.А. Хитов // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1987. – № 6. – С. 26 – 42.
2. Драгилев, А.И. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей [Текст] / А.И. Драгилев. – М.: Колос, 2001. – 352 с.
3. Дробилка кормов // <http://www.cnsnb.ru> (дата звернення 16.06.2021).
4. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р.Л. Зенков. – М.: Машгиз, 1964. – 251 с.
5. Клушанцев, Б.В. Дробилки. Конструкция, расчет, особенности эксплуатации [Текст] / Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.
6. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов [Текст] / Г.М. Кукта // Кормопроизводство. – 1992. – № 3. – С. 6 – 7.
7. Куприц, Я.Н. Технология переработки зерна [Текст] / Я.Н. Куприц. – М.: Колос, 1965. – 504 с.
8. Макаров, В.И. Машины для дробления и сортировки материалов: Справочник [Текст] / В.И. Макаров, В.П. Соколов. – М.; Л.: Машиностроение, 1966.– 158 с.
9. Молотковые дробилки фирмы «Сокам» // <http://www.activestudy.info>
10. Пленчатость зерна. – Режим доступа: <http://www.activestudy.info/plenchatost-zerna/> (дата обращения: 25.11.2021).
11. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 63 с.
12. Савиных, П.А. Малогабаритная молотковая зернодробилка [Текст] / П.А. Савиных // Сельский механизатор. – 2015. – № 5. – С. 23.
13. Черняев, Н.П. Технология комбикормового производства [Текст] / Н.П. Черняев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.

14. Bond, F.C. Some recent advances in grinding theory and practice / F.C. Bond // Brit. Enang. – 1963. – No. 9. – P. 4 – 9.
15. Sysuev, V. Movement and transformation of grain in twostage crusher Engineering for Rural Development, Proceedings / V. Sysuev – 2015. – Vol. 14. – pp. 22 – 27
16. Кукта Г. М. Удосконалення експлуатації машин і обладнання тваринницьких ферм і комплексів /За ред. Г.М Кукта. – К: Урожай, 1989. – 224 с.
17. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції. – К., 1998. – 220 с.
18. Подпратов Г. І. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Київ: Мета, 2002. 495 с.
19. Ревенко І. І. Машини та обладнання для тваринництва: посібникпрактикум. К. : Кондор, 2011. 396 с.
20. Шеремета Р. Б. Огляд реологічних моделей. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2018. № 22. С. 22–30.
21. Піщелка В. А. Стан та перспективи розвитку комбікормової галузі в Україні. Ефективні корми та годівля. 2006. № 3. С. 5–8.
22. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посіб. О. В. Дацишин та ін.; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова кн., 2009. 488 с.
23. Agromech: Rozdrabniacz bijakowy Rb 3.5. URL:<https://www.agromech.pl>, Польща, (Last accessed: 16.11.2021).
24. Гвоздєв О. В, Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія «Технічні науки». 2011. № 9. С. 143–150
25. Ребиндер П. А. Физико-химические исследования процессов деформации твёрдых тел. Сборник АН СССР. 4.1; Ленинград: 1947. 256 с.
26. Рибарук В. Я. Сільськогосподарські машини: практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: ЛДАУ, 1998. 264 с.

27. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навч. посіб. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.
28. Марченко О. С., Дацишин О. В., Лавріненко Ю. М. та ін. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві. Київ: Урожай, 1995. 416 с.
29. Алешкин В. Р. Некоторые закономерности прохода частиц через решето молотковой дробилки. Механизация сельскохозяйственного производства: Записки ЛСХИ. Львов, 1968. Т. 119, вып. 1. С. 118–124.
30. Богородский А. В. Интенсификация процесса измельчения в мельницах дезинтеграторного типа. Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1980. Т. 23, вып. 5. С. 643–645.
31. Development and study of the grain crushing working process of shocking and reflective crusher. Vestnik of Kazan State Agrarin University. 2019. 14(1).
P. 100–106.
32. Sven B. Strom, Ring Hammer, United States Patent US3580518A, St. Louis 1971.
33. SORTECH Srl. URL: <https://www.sortech.it/>, Італія (Last accessed: 16.01.2021)
34. Закон України «Про охорону праці»
35. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»
36. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»
37. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»
38. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Обґрунтування техніко-технологічних параметрів обладнання для подрібнення зерна

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконала: студентка 2 курсу, групи МГМ-3-20
Наливайко Мирослава Ярославівна**

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

Дніпро-2021

Мета і задачі досліджень

Мета дослідження: підвищення продуктивності та зниження енергоємності процесу подрібнення зерна за рахунок модернізації молоткової дробарки.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих сільськогосподарських подрібнювачів машин та розробити конструктивно-технологічну схему нової молоткової дробарки;
2. Теоретично дослідити вплив конструктивно-режимних та технологічних параметрів робочого процесу молоткової дробарки на продуктивність та енергоємність процесу подрібнення;
3. Експериментально дослідити вплив конструктивно-режимних параметрів модернізованої молоткової дробарки на якісні та енергетичні показники готового продукту;
4. Провести аналіз розробленої конструкції модернізованої молоткової дробарки з точки зору охорони праці;
5. Провести оцінку економічних показників розробленої конструкції модернізованої молоткової дробарки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес подачі та подрібнення зерна у молотковій дробарці з отримання готового продукту необхідної крупності.

Предметом дослідження є закономірності впливу конструктивно-режимних та технологічних параметрів молоткової дробарки на продуктивність та енергоємність процесу подрібнення зерна.

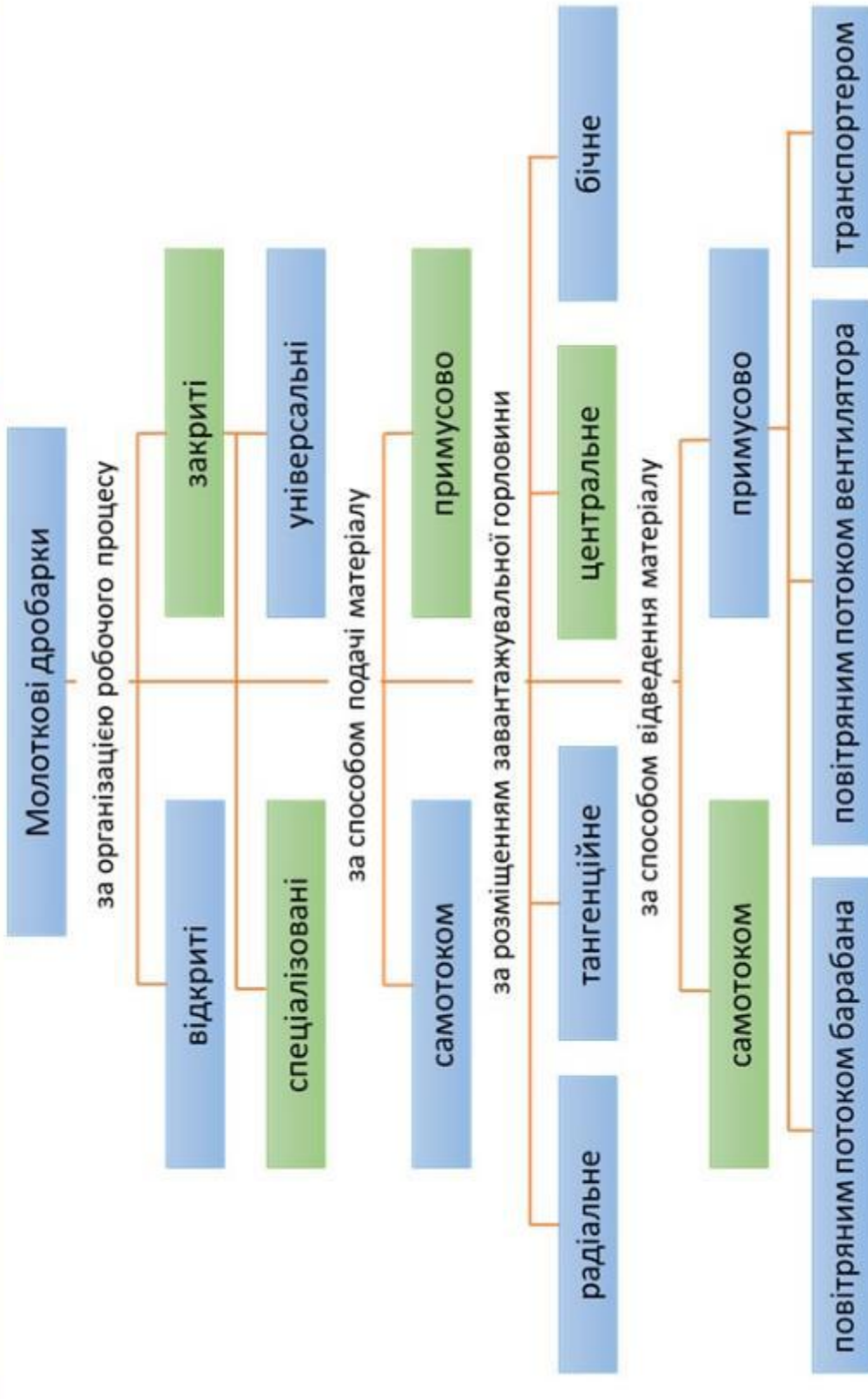
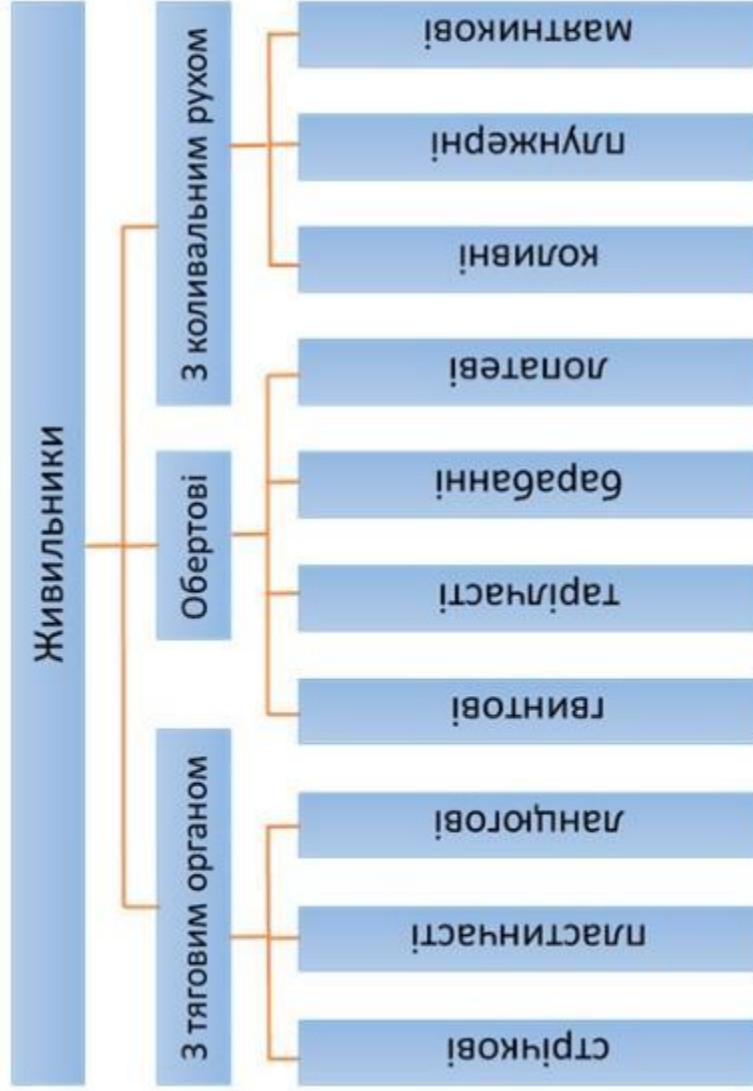


Рисунок 1 - Класифікація молоткових дробарок

Аналіз стану питання



При виборі та розробці живильного пристрою повинні враховуватися такі вимоги:

- здійснювати безперервну та рівномірну подачу матеріалу;
- забезпечувати необхідну пропускну здатність матеріалу до робочих органів дробарки;
- здійснювати подачу матеріалу до робочих органів молоткової дробарки з певною швидкістю.

Рисунок 2 - Класифікація живильників

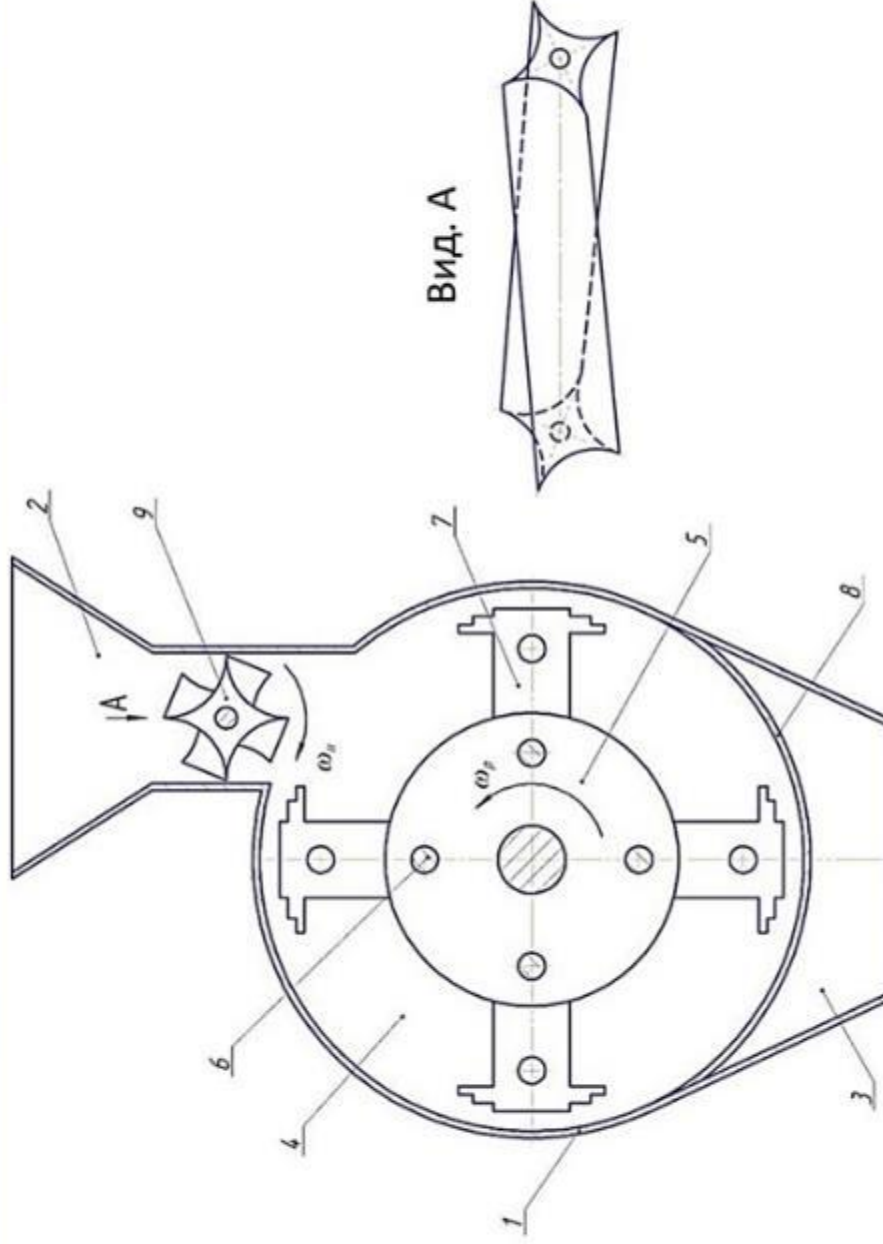


Рисунок 3 - Молоткова дробарка: 1 - циліндричний корпус; 2 - завантажувальний бункер; 3 - вивантажне вікно; 4 - дробильна камера; 5 - ротор; 6 - палець; 7 - решето; 8 - решето; 9 - живильне пристрій

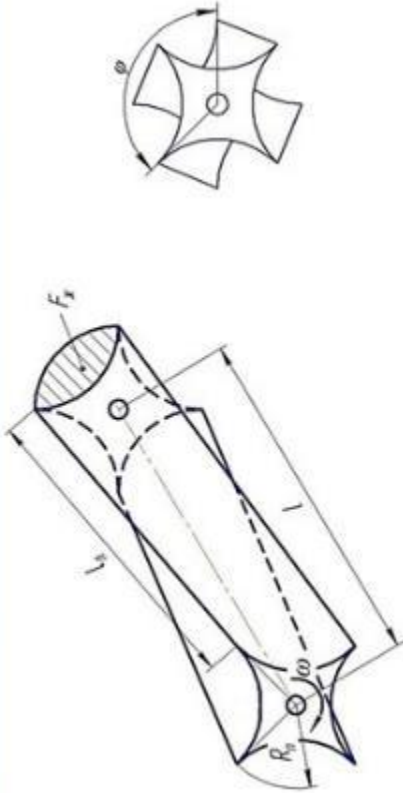


Рисунок 4 - Схема до визначення величини подачі пристрою живлення

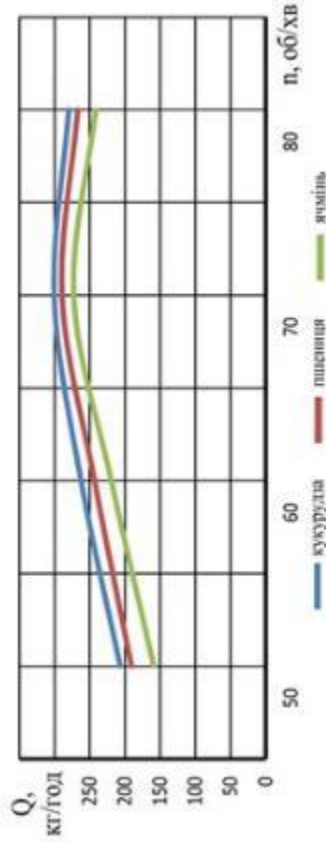


Рисунок 5 - Теоретична залежність величини подачі Q_n від частоти обертання вала живильного пристрою n_n

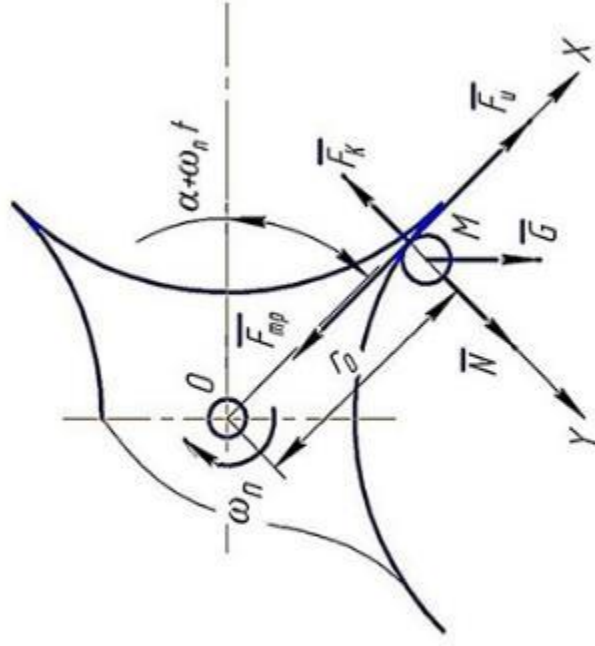


Рисунок 6 - Процес розвантаження подрібнюваного матеріалу з лопаті живильного пристрою

збільшення частоти обертання вала пристрою живлення до 70 хв^{-1} збільшується і подача. Подальше збільшення тягне у себе падіння величини подачі оскільки чим більша частота обертання, тим менший коефіцієнт заповнення жолоба

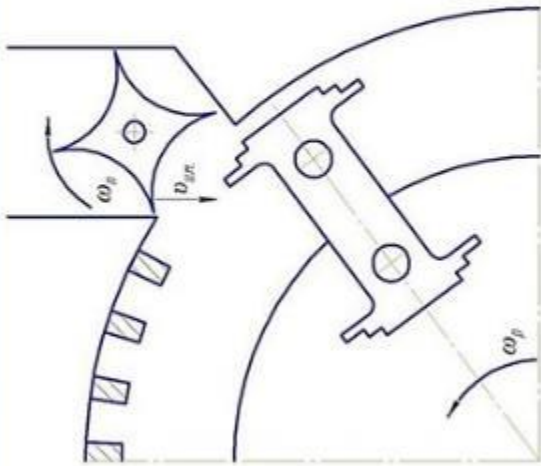


Рисунок 7 - Момент проходження молотка під завантажувальною горловиною

$$T_{уд} = \frac{m'm_m}{m' + m_m} \cdot \frac{v_{уд}^2}{2}, \quad T_{уд} = z_b \frac{m'm_m}{m' + m_m} \cdot \frac{v_{уд}^2}{2},$$

стандартний проектний

де $T_{уд}$ - енергія удару, Дж;
 m' - маса порції матеріалу, що бере участь у зіткненні з молотком, кг;
 $v_{уд}$ - швидкість удару, м/с.
 де z_b - кількість виступів на робочій поверхні молотка

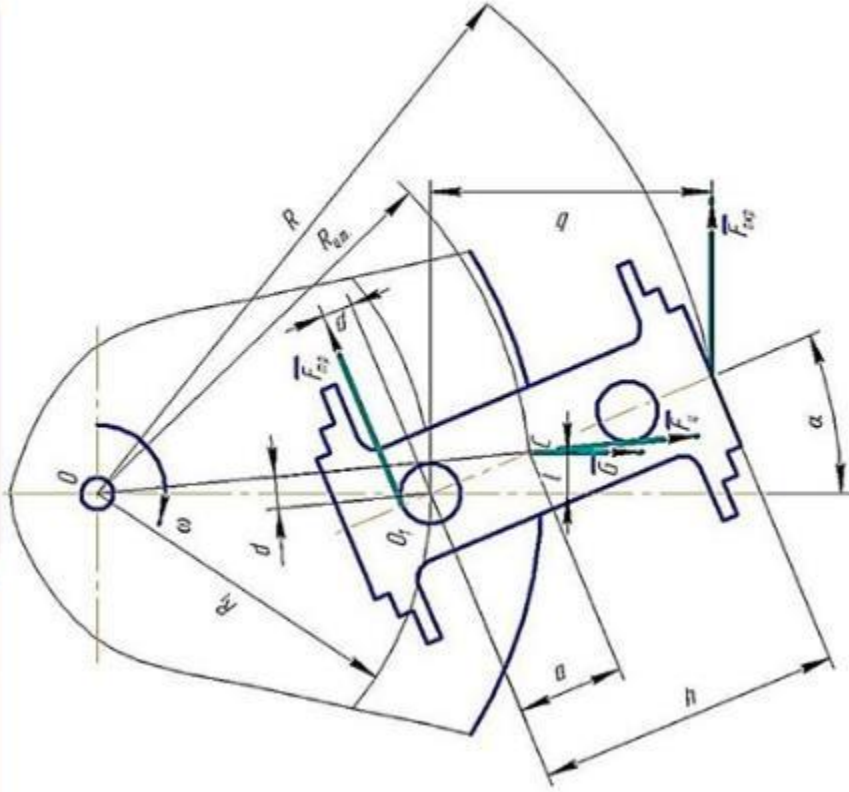


Рисунок 8 - Схема дії сил на молоток

Враховуючи силову взаємодію молотка з матеріалом, визначено основні параметри (радіус підвісу та колову швидкість) молотка для запобігання його відхиленню від радіального положення.



Рисунок 9 - Загальний вид лабораторної установки (а), пристрій живлення (б) та загальний вид ротора (в) у зборі

Для підтвердження та перевірки теоретичних залежностей, а також подальшого вивчення процесу подрібнення зерна у молотковій дробарці на кафедрі «механізація виробничих процесів у тваринництві» ДДАЕУ на основі малогабаритного подрібнювача було розроблено та виготовлено лабораторну установку. При цьому досліджували процес роботи пристрою живлення та процес подрібнення.

Результати експериментальних досліджень

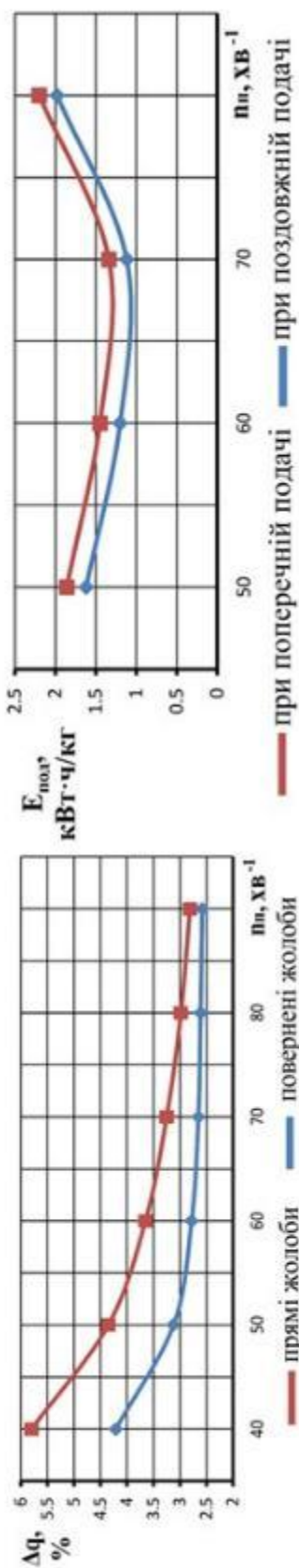


Рисунок 10 - Залежність рівномірності подачі подрібнюваного матеріалу Δq від частоти обертання вала живильного пристрою n_n (ячмінь)

Рисунок 12 - Залежність енергоємності процесу подачі $E_{\text{под}}$ від частоти обертання вала живильного пристрою n_n при $D_n = 0,05$ м

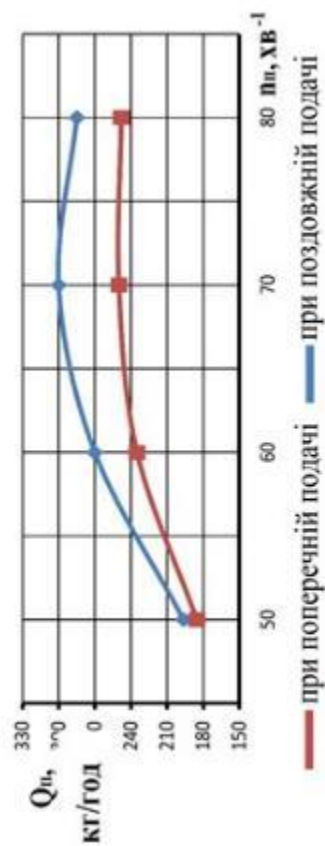


Рисунок 11 - Залежність величини подачі Q_n подрібнюваного матеріалу від частоти обертання вала живильного пристрою n_n при $D_n = 0,05$ м

1. Пропонована конструкція пристрою живлення забезпечує вищу рівномірність потоку зерна до робочих органів молоткової дробарки при менших частотах обертання порівняно з живильником із жолобами прямої форми (рис. 10).

2. Подовжнє розташування живильного пристрою забезпечує збільшення величини подачі подрібнюваного матеріалу на 8...12%, а також зниження енергоємності процесу подачі на 7... 10 %, у порівнянні з поперечним, при частоті обертання вала 70 об/хв (рис. 11, 12).

Результати експериментальних досліджень

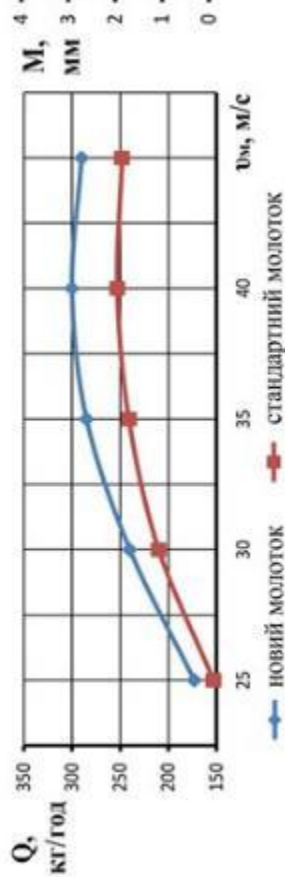


Рисунок 13 - Залежність продуктивності Q молоткової дробарки від швидкості молотків U_m

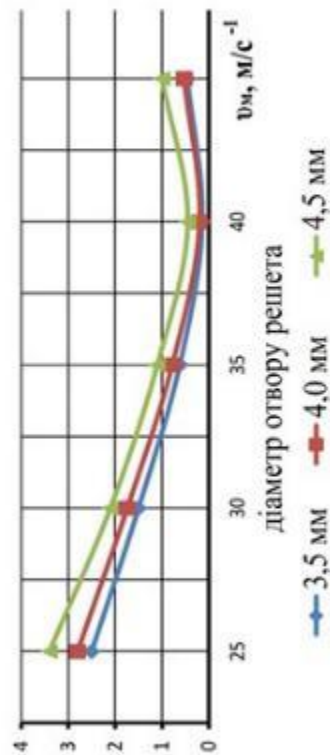


Рисунок 15 - Залежність модуля помелу M готового продукту від швидкості молотків U_m

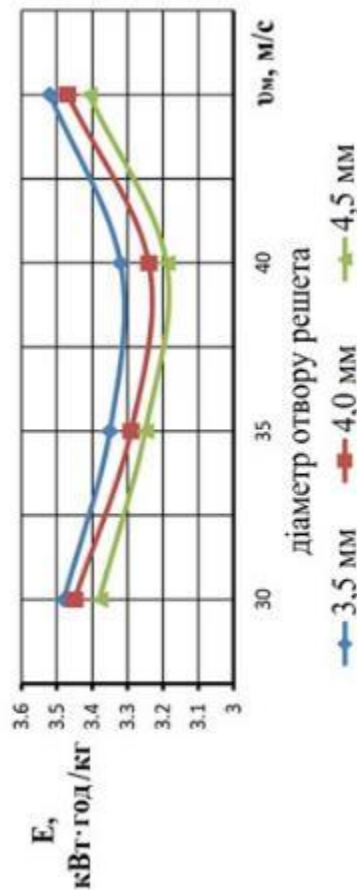


Рисунок 14 - Залежність енергоємності процесу подрібнення E від швидкості молотків U_m

1. Молотки зі ступінчастою формою робочої поверхні забезпечують продуктивність молоткової дробарки на 20 % більше в порівнянні з стандартними при колійній швидкості молотків, що дорівнює 40 м/с (рис. 13).
2. У межах зміни колійної швидкості від 25...35 м/с енергоємність достатньо висока, це пояснюється тим, що швидкість молотків недостатня для руйнування подрібнюваного матеріалу (рис. 14).
3. При досягненні оптимальної колійної швидкості молотків 40 м/с модуль помелу зменшується, подальше збільшення колійної швидкості веде до збільшення модуля помелу через сильний вентиляційний ефект на подрібнювану масу (рис. 15).

Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів

Перед дробаркою має бути встановлений магнітний захист в відповідності до чинних правилами організації та ведення технологічного процесу для запобігання потраплянню в робочу зону магнітних домішок, які можуть викликати аварію або іскріння та вибух. Завантажувальний бункер дробарки має захисну решітку з розміром комірок 20x20 мм для запобігання потраплянню сторонніх предметів.

Ротор дробарки статично відбалансований в зібраному вигляді. Молотки надійно закріплені, не мають тріщин або інших дефектів. Молотки не повинні зачіпати за деку і решето, щоб уникнути іскріння.

Робота проектованої дробарки з підвищеною вібрацією та іншими несправностями не допускається. Пуск дробарки здійснюється тільки в незавантаженому стан після ретельної перевірки відсутності в ній сторонніх предметів.

До пуску в роботу слід перевірити укомплектованість, кріплення та стан молотків на роторі та цілісність решіт. При появі стуку чи інших несправностей машина повинна бути негайно зупинена для виявлення та усунення причин несправності. При пуску дробарка має бути спочатку пропущена вхолосту, потім з поступовим завантаженням до необхідної. При цьому мають бути вжиті заходи проти зворотного викиду продукту. Молоткова дробарка встановлюється на віброізолюючих основах.

Привід дробарки повинен вимикатися при перевантаженні робочих органів. Дробарка повинна мати пристрої аварійного відключення, що виключають можливість травмування працівників у разі порушення режиму роботи дробарки або виникнення несправностей.

Техніко-економічна оцінка

№ з.п.	Показник	Bosch BFS 4200	Дробарка за розробкою
1	Чисельність обслуговуючого персоналу, люд.	1	1
2	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3	Кількість робочих днів на рік	365	365
4	Поголів'я свиней на приватній фермі, гол.	100	100
5	Добова потреба в кормі, кг/гол.	2,8	2,8
6	Добова потреба в кормі по фермі, кг	280	280
7	Продуктивність дробарки, кг/год	280	300
8	Тривалість роботи машини на добу, год.	1,00	0,93
9	Балансова вартість машини, грн.	3600	6400
10	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12	Вартість електроенергії, грн/кВт*год	2,32	2,32
13	Потужність на привід, кВт	4,2	2,2
14	Витрати на заробітну плату, грн.	24135,26	22526,24
15	Амортизаційні відрахування, грн.	360,00	640,00
16	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	288,00	512,00
17	Витрати на електроенергію, грн.	3556,56	1738,76
18	Експлуатаційні витрати, грн.	28339,82	25417,01
19	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	2922,81
20	Термін окупності нового змішувача, років	-	0,96

1. Аналіз існуючих подрібнювальних машин показав, що основними машинами для подрібнення різних сільськогосподарських матеріалів є молоткові дробарки. Існуючі в даний час конструкції молоткових дробарок мають середню продуктивність та велику енергоємність процесу подрібнення. Рівномірне подання матеріалу до робочих органів молоткової дробарки дозволяє підвищити якість подрібнення. З метою виявлення найбільш перспективної конструктивно-технологічної схеми пристрою живлення провели їх аналіз, який показав, що живильники барабанного типу з жолобами, виконаними по гвинтовій лінії, найбільш повно задовольняють пропонуваним до них вимогам.
2. Обґрунтовано конструктивно-технологічну схему молоткової дробарки, що включає живильний пристрій барабанного типу з жолобами, протилежні сторони яких повернені щодо один одного та молотки, робоча поверхня яких виконана в вигляді трьох виступів радіуси від вершин яких до осі підвісу рівні. Отримані вирази для визначення продуктивності запропонованої конструкції пристрою живлення та умови, що дозволяють забезпечити стійку рівновагу молотка, при якому він не відхилиться від радіального положення: кутова швидкість обертання ротора з молотками та мінімальна маса молотків.
3. За результатами експериментальних досліджень було вибрано подовжене розташування пристрою живлення щодо валу ротора дробарки при якому величина подачі збільшується на 5...7%, а енергоємність процесу подачі знижується на 7...10 %. Мінімальна енергоємність процесу подачі подрібнюваного матеріалу, що дорівнює 1,12...1,21 кВт·год/кг досягається при частоті обертання n_n 60 ... 70 хв⁻¹ і діаметрі D_n барабана живильного пристрою дорівнює 0,05 м, при цьому величина подачі подрібнюваного матеріалу становить 250...300 кг/год.
4. Приведено основні визначення та поняття щодо охорони праці в сільському господарстві. Визначено, які саме небезпечні чинники виникають при подрібненні зерна, запропоновано ряд заходів для запобігання та уникнення дії визначених чинників. Розроблено порядок безпечної роботи при подрібненні зерна та порядок дій при виникненні гідродинамічної аварії.
5. Як свідчить економічна оцінка нової дробарки зерна при роботі на малій фермі з поголів'ям 100 свиней він має нижчі значення експлуатаційних витрат в порівнянні з аналогом завдяки вищій продуктивності та меншій потужності на привід. Річна економія експлуатаційних витрат склала 2922,81 грн. а термін окупності удосконалення 0,96 роки.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

**ІНЖИНІРИНГ АГРОПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА**

Всеукраїнська студентська науково-практична конференція

Дніпро, 2021

УДК 631:62-5

Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр.
І 62 студ. наук.-практ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро:
ДДАЕУ, 2021. – 80 с.

У збірнику представлені наукові матеріали Всеукраїнської науково-практичної студентської конференції «Інжиніринг агропромислового виробництва» (zareestrovano в УкрІНТЕІ, 8.11.2021, № 904). Тематика наукових матеріалів присвячена питанням розроблення та впровадження інноваційних технологій та технічних засобів агропромислового виробництва.

Наукові матеріали надані в авторській редакції з дотриманням стилю автора. За фактичний матеріал і його інтерпретацію відповідальність несуть автори та наукові керівники.

Адреса оргкомітету:

Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25
тел. (050) 970-16-90, Дніпровський державний аграрно-
економічний університет, кафедра механізації виробничих
процесів у тваринництві, dudin.v.yu@dsau.dp.ua

© ДДАЕУ, 2021

© Автори публікацій, 2021

УДК 631.363

ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ

Наливайко М.Я.

*здобувач вищої освіти СВО Магістр,
ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ**Науковий керівник – Дудін В.Ю.,
кандидат технічних наук, доцент*

Для процесу подрібнення на сільськогосподарських підприємствах застосовують різні подрібнюючі машини, що розрізняються за конструкцією та типом робочих органів: хрестові, штифтові, барабанні, тарілчасті, роторні та молоткові (рис. 1).

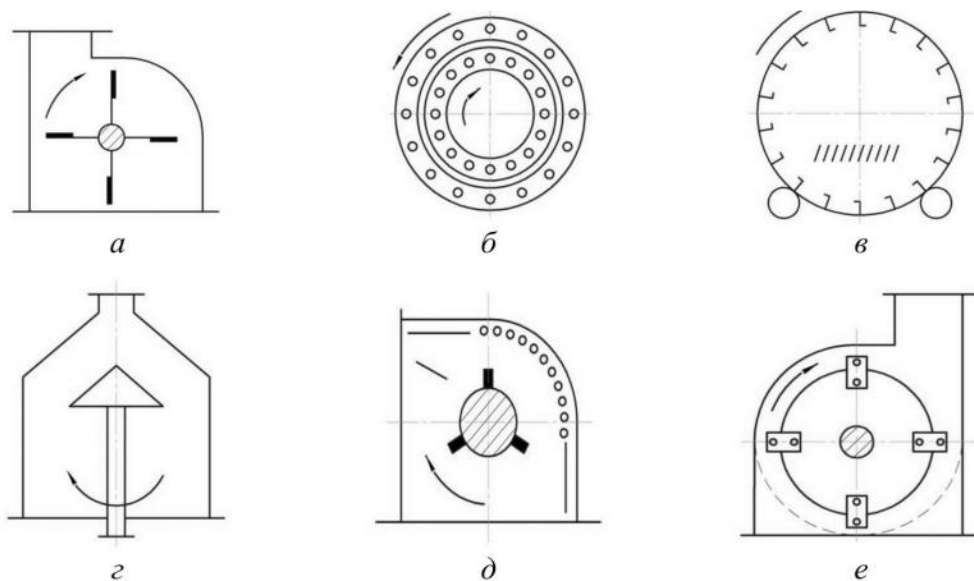


Рисунок 1 – Схеми подрібнювальних машин: а – хрестові; б – штифтові; в – барабанні; г – тарілчасті; д – роторні; е – молоткові

Хрестові дробарки (рис. 1, а) у своїй конструкції мають била, жорстко закріплені на роторі, колова швидкість бил може досягати до 100 м/с. Дані дробарки знайшли широке застосування для подрібнення м'яких матеріалів.

У штифтових дробарках (рис. 1, б) одним з основних робочих органів є два циліндри, що утворюють яких представляють штифти, жорстко закріплені на основі. Процес подрібнення даних дробарок відбувається за рахунок обертання двох циліндрів зі штифтами, що обертаються назустріч. Швидкість руху штифтів може досягати до 150 м/с та вище. Готовий продукт при подрібненні штифтовими дробарками має крупність до 5 мм. Дані дробарки знайшли широке застосування для подрібнення матеріалів зниженої міцності.

Барабанні дробарки (рис. 1, в) включають в себе пустотілий барабан, який має торцеві кришки з порожніми цапфами, встановленими у підшипниках. Дробильна камера заповнена подрібнюючими тілами на 25 – 40% та матеріалом, що подрібнюється. У дробильній камері за допомогою відцентрової сили інерції подрібнюючий матеріал переміщається до стінок барабана дробарки, де стикається в зоні з подрібнюючими тілами. Дані дробарки знайшли своє застосування в основному для подрібнення маломіцних продуктів. Неможливість застосування барабанних дробарок для подрібнення зерна пов'язано з тим, що дані дробарки є періодичної дії та мають великі габаритні розміри.

У тарілчастих дробарках (рис. 1, г), подрібнення здійснюється за рахунок удару маси матеріалу, що розганяється за допомогою обертання диска (тарілки) об деку. Дані найбільш застосовні при подрібненні таких матеріалів, як глина, вапняк та ін. З досліджень тарілчасті дробарки мало застосовні в сільському господарстві через їх недостатню ефективність процесу подрібнення.

У роторній дробарці (рис. 1, д) руйнування відбувається за допомогою ударного впливу бил по матеріалу, а також зіткнень частинок подрібнюваної маси між собою. Для найбільш ефективного руйнування подрібнюваного матеріалу колова швидкість

ротора може досягати 80 м/с. Дані Дробарки в основному застосовують при виробництві будівельних матеріалів.

У молоткових дробарках (рис. 1, е) процес подрібнення відбувається за рахунок впливу на подрібнюваний матеріал шарнірно-підвішених на ротор молотків. Молоткові дробарки відрізняються досить високим ступенем подрібнення. Перевагами молоткових дробарок є швидке вилучення подрібненого матеріалу з дробильної камери, можливість регулювати ступінь подрібнення, легка заміна робочих органів, що зношуються, механізоване завантаження подрібнюваного матеріалу.

Проведений аналіз представлених подрібнювальних машин показує, що молоткові дробарки найбільш повно відповідають вимогам, що висуваються для подрібнення зерна. Проте слід зазначити, що сам процес подрібнення молотковими дробарками зерна до сьогодні мало вивчений, тому постає питання про вдосконалення, як самого процесу подрібнення, так і конструктивно-режимних, а також технологічних параметрів дробарки.

Список використаних джерел:

1. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посіб. О. В. Дацишин та ін.; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова кн., 2009. 488 с.
2. Драгилев, А.И. Технологическое оборудование предприятий перерабатывающих отраслей [Текст] / А.И. Драгилев. – М.: Колос, 2001. – 352 с.

