

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 конструктивно-технологічних
параметрів молоткової дробарки зерна**

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМЗ-1-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Муравйова Ольга Олегівна

Керівник: _____ Гаврильченко Олександр Степанович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2022

**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)

«24» січня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Муравйова Ольга Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів молоткової дробарки зерна

керівник роботи Гаврильченко Олександр Степанович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«24» січня 2022 року № 120

2. Строк подання студентом роботи 14.02.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Стан питання процесів та обладнання для подрібнення зернових кормів, ефективність класифікації продукту 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 за темою досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування нової дробарки. 3. Експериментальні дослідження дробарки. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність застосування проєктованої молоткової дробарки. Загальні висновки. Список використаної

літератури.

Додатки.

:

5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

7. Дата видачі завдання: 24.01.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 24.01.2022 р.	
2	Теоретичний	до 24.01.2022 р.	
3	Експериментальний	до 24.01.2022 р.	
4	Охорона праці	до 24.01.2022 р.	
5	Економічний	до 31.01.2022 р.	
6	Демонстраційна частина	до 07.02.2022 р.	

Студент

(підпис)

Муравйова О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гаврильченко О.С.

(прізвище та ініціали)

За-	Дудін				ЕУ
-----	-------	--	--	--	----

АНОТАЦІЯ

Муравйова О.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів молоткової дробарки зерна / Дипломна робота представлена на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

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, решето, класифікація, енергоємність, однорідність

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 за темою досліджень	10
1.1 Способи подрібнення сипких кормів	10
1.2 Огляд сучасних молоткових дробарок	12
1.3 Напрямки розвитку конструкцій молоткових дробарок	24
1.4 Вплив решета на робочий процес	30
1.5 Висновки	32
2 Теоретичне обґрунтування нової дробарки	33
2.1 Обґрунтування напрямків удосконалення	33
2.2 Обґрунтування використання решіт з прямокутними отворами	34
2.3 Вплив прямокутної форми отворів на якість продукту	39
2.4 Дослідження зміни площі поверхні корму та енергоємність	44
2.5 Вплив прямокутної форми отвору на енергоємність транспортування	46
2.6 Опис конструкції регулятора «живого» перерізу	50
2.7 Висновки	52
3 Експериментальні дослідження подрібнювача	53
3.1 Випробування регулятора «живого» перерізу	53
3.2 Порівняння роботи регулятора «живого» перерізу та решіт з круглими отворами	55

3.2.1	Якісна оцінка продукту	55
3.2.2	Оцінка енергоємності процесу	60
3.3	Висновки	63
4	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	65
4.1	Загальні визначення та поняття	65
4.2	Аналіз небезпечних та шкідливих чинників при подрібненні зерна	66
4.3	Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	67
4.4	Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна	68
4.5	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	70
4.6	Висновки	71
5	Економічна ефективність застосування проектованої молоткової дробарки	72
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	77
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	79
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

За даними FAO, до 2050 року населення планети складе 9 млрд людей, а потреба у їжі збільшиться на 60% порівняно із сьогоднішнім. Об'єм світового виробництва м'яса та риби збільшиться у 2 рази. У зв'язку з цим, за оцінкою експертів, до 2020 року обсяг ринку комбикормів натуральному вираженні зросте на 9 млн. тон.

Тваринництво є однією з найважливіших галузей сільського господарства як і України, так і у інших країнах світу. Ця галузь забезпечує населення продуктами харчування тваринного походження, а також постачає сировину до багатьох галузей виробництва, таких як текстильна промисловість, харчова та інші.

Витрати на годівлю у структурі собівартості продукції тваринництва, на думку економістів, займають 75%, тому виробництво кормів є найважливішою складовою галузі, та від їх якості та собівартості повною мірою залежить продовольча безпека країни.

В Україні, як і в багатьох країнах світу, фуражне зерно є одним з найважливіших компонентів у раціонах сільськогосподарських тварин. Частка концентратів у загальному кормовому балансі України становить 29-32 %. При цьому як і у випадку з будь-яким іншим кормом, значення має не лише якість зерна, а й спосіб його підготовки перед згодовуванням тваринам. Правильність і якість приготування кормів, зокрема і комбінованих, значно позначається на продуктивності тварин, їх здоров'я, а зрештою якості продукції тваринництва.

У зв'язку з цим необхідно приділяти особливу увагу процесу підготовки зерна до згодовування, а саме - його подрібнення. Для цього у господарствах усіх категорій широкого поширення набули молоткові дробарки.

Завдяки своїм перевагам, а саме простій конструкції, малій металоємності, високій енергонасиченості, низькій вартості, молоткові дробарки знайшли широке застосування в гірничорудної, цементної, кондитерської промисловості, а також у багатьох інших галузях.

Аналіз досліджень Р. Гійо, Л. А. Глебова, А. Р. Демідова, В. А. Денісова, С. В. Золотарьова з динамічного та статичного навантаження різних багатоконпонентних структурно-неоднорідних матеріалів показує, що з усіх способів руйнування найефективнішим для більшості є вільний удар.

При цьому виходить продукт помелу високої якості з мінімальними витратами енергії. Збільшені вимоги до енергоефективності, якості, продуктивності неможливо задовольнити без удосконалення конструктивно-режимних параметрів подрібнювальних машин. Тому зміна робочих органів, а також оптимізація процесу подрібнення обов'язково позначиться якості і собівартості продукції.

Розглядаючи питання подрібнення зерна, слід зазначити, що для завантаження та відведення подрібненого продукту з дробильної камери та наступного його транспортування широко використовуються вентилятори. Вони дозволяють відмовитись від додаткових пристроїв та забезпечують транспортування продукту без попадання пилу до приміщення. Вентилятор монтується на валу ротора, розміщують між бункером-змішувачем і дробаркою або лопатки вентилятора інтегровані з дробильним ротором.

Таким чином, актуальним є питання вдосконалення конструктивно-режимних параметрів молоткової дробарки, зокрема алгоритму роботи приводу вентилятора.

Метою дослідження даної роботи є підвищення ефективності процесу подрібнення зерна за рахунок удосконалення конструктивно-режимних параметрів молоткової дробарки.

Завдання дослідження:

- запропонувати нові конструктивно-технічні елементи молоткового дробарка;

- отримати аналітичні залежності впливу прямокутної та круглої форм отворів решета на якісні та енергетичні показники одержуваного продукту;
- на підставі експериментальних даних отримати залежності впливу конструктивно-режимних параметрів на якісні та енергетичні показники одержуваного продукту;
- розрахувати економічну ефективність використання запропонованого рішення.

Об'єктом дослідження є технологічний процес подрібнення зерна у молотковій дробарці, а також її основні конструктивні елементи.

Предметом дослідження є закономірності впливу основних конструктивно-режимних параметрів молоткової дробарки на ефективність процесу подрібнення зерна.

1 Огляд за темою досліджень

1.1 Способи подрібнення сипких кормів

Як було зазначено, перед введенням зерна в кормову суміш його необхідно підготувати, щоб воно якомога повніше засвоїлося організмом тварини. При досягненні кращого засвоєння зменшується конверсія корму, тим самим менше витрачається зерна на отримання одиниці продукції тваринництва. Для підготовки зерна до згодовування в комбікормової промисловості, а також у сільськогосподарських підприємствах широкого поширення набув спосіб руйнування матеріалу механічним впливом з боку робочих органів.

Фізіологічні особливості тварин вимагають різного рівня подрібнення, а зоотехнічні вимоги до підготовленого зернового корму передбачають різні розміри частинок. У той же час, подрібнений матеріал повинен мати вирівняний гранулометричний склад. Дослідження проблем годівлі тварин показують, що високий вміст дрібної фракції (більше 25%) у кормах для свиней негативно позначається на їхньому здоров'ї та продуктивності – у них може розвинутися виразкова хвороба. До того ж вирівняний гранулометричний склад схильний до меншого розшарування при транспортуванні, а зменшення частки дрібної фракції сприяє кращій сипкості.

Розрізняють кілька способів руйнування зернового матеріалу. При обмеженому ударі відбувається руйнування між двома робочими органами, кінетична енергія яких визначає ефективність подрібнення. При роздавлюванні руйнування матеріалу відбувається у всьому об'ємі. При досягненні внутрішньої напруги межі міцності відбувається руйнування зернового матеріалу. При

сколюванні руйнування відбувається у зонах найбільшої концентрації напруги. При різанні матеріал руйнується задані на частини. Цей процес повністю піддається контролю. При стиранні на матеріал діють нормальні та дотичні напруги. Цей спосіб руйнування зерна є найдавнішим.

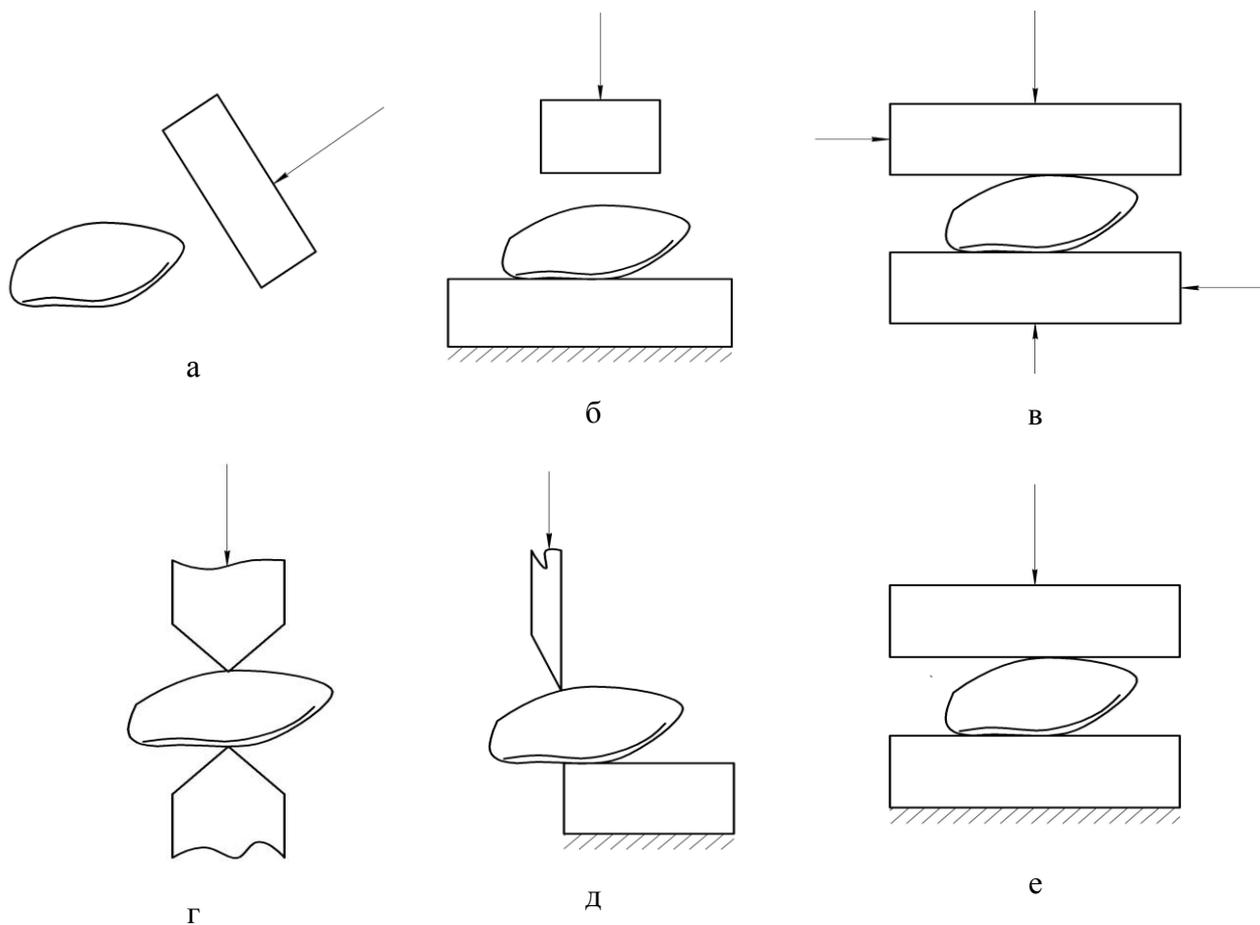


Рисунок 1.1 – Способи подрібнення матеріалів: а – вільним ударом; б - стисненим ударом; в - стиранням; г – сколювання; д - різанням; е – стисканням

У жодному з типів подрібнювачів наведені способи не зустрічаються в «чистому» вигляді, тим не менше, у кожному їх можна назвати переважаючими. Найбільш поширеним є спосіб руйнування зерна вільним ударом, де руйнування зерна відбувається завдяки впливу робочого органу.

Поширеність способу подрібнення вільним ударом доводять досліджен-

ня численних авторів, у яких йдеться, що мінімальна енергоємність складається саме у процесі удару.

У своїх роботах Барабашкін В. П. зазначає, що питома вартість машин з ударним принципом дії нижче у 2 рази, а маса менша у 4 рази в порівнянні з вальцьовими машинами. Крім молоткових дробарок у кормовиробництві використовують машини, принцип роботи яких ґрунтується на руйнуванні матеріалу здавлюванням. До них відносять вальцьові млини та вальцьові плющилки.

Деякі підприємства використовують ударно-відцентрові подрібнювачі, до яких належать відцентрові дробарки, дисмембратори, дезінтегратори, при необхідності одержання продукції тонкого помелу - млини струменеві, колоїдні та ін.

Розглянувши способи руйнування зерна, а також результати робіт з визначення їхньої енергоємності можна зробити висновок, що вибір молоткових дробарок для подрібнення зерна є обґрунтованим та актуальним.

1.2 Огляд сучасних молоткових дробарок

Конструкція молоткових дробарок була розроблена ще XIX в. У 1860 р. у Лондоні був зареєстрований патент «на машину ударної дії для подрібнення кварцу». В даний час молоткові дробарки широко використовуються в багатьох галузях промисловості та в сільському господарстві. Їх використовують у гірничорудній промисловості при подрібненні основних компонентів при виробництві цементу, а також у кондитерській промисловості.

В азбестовій промисловості вони використовуються для дроблення азбестової руди. У молоткових дробарках переважає спосіб руйнування внаслідок вільного удару. Цей спосіб руйнування реалізований різними конструктивними схемами, представленими рис. 1.2.

Як було зазначено, молоткові дробарки широке застосування знайшли в сільське господарство. Вони є універсальними подрібнюючими машинами. З їх допомогою подрібнюють всі види сипучої сировини, необхідної для приготування комбікормів.

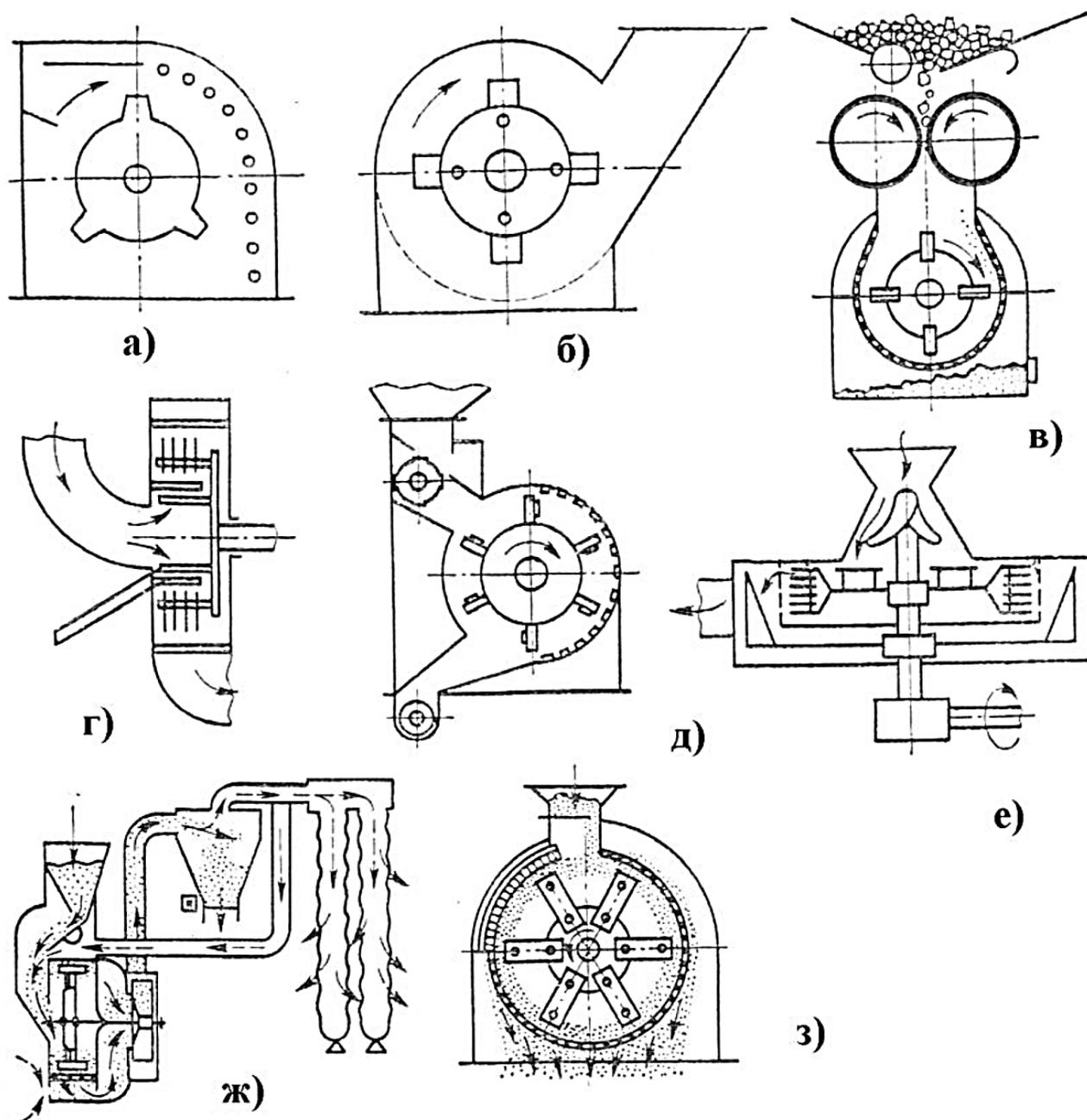


Рисунок 1.2 - Схеми дробарок: а - відкрита; б – закрита; в, г – дворівневі; д – з жорстким кріпленням молотків; е – горизонтальна; ж - закритий повітря-

ний потік; з - з шарнірним кріпленням молотків

Молоткові дробарки просто влаштовані, надійні в роботі, є компактними за розмірами. Вони ефективно руйнують зернові оболонки та незначно нагрівають продукт. Деякі дробарки забезпечені вентилятором, що створює повітряний потік, що транспортує подрібнений продукт. У той же час у них є недоліки: утворення пилоподібної фракції, труднощі зміни ступеня помелу в процесі роботи, високі пускові навантаження.

В даний час молоткові дробарки представлені як вітчизняними так і зарубіжними виробниками. Потужність варіюється в діапазоні 0,2-400 кВт, а на індивідуальні замовлення її можна збільшити. Асортимент представлений як для особистих підсобних господарств, так великих комбикормових заводів. Для потреб особистих підсобних господарств випускаються переважно молоткові дробарки малою потужністю з живленням від однофазної мережі змінного струму або бензинового двигуна. Їх виробництвом займаються малі підприємства та індивідуальні підприємці.

МДМ 200/400 (рис. 1.3) складається з корпусу 1, розташованого в ньому ротора з молотками 2, корпусі змонтовані відкидні дверцята 3 із завантажувальною горловиною, в нижній частині дробильної камери розташоване змінне решето 4, ротор приводиться у обертання електродвигуном 5. Запуск дробарки здійснюється пускорегулюючою апаратурою 6. Готовий продукт зсипається у горловину 7.

Дробарка зерна ДЗ-Т-1 (рис. 1.4, а) має змінні решета, з отворами діаметром 4, 6 та 8 мм. При встановленні решета з отворами найменшого діаметра забезпечується найбільш дрібний помел зерна, необхідний при годівлі свиней, а при користуванні решета з діаметром отворів 6 та 8 мм виходить найбільший і найбільший помел, відповідний з вимогам годівлі великої рогатої худоби та птиці. Зерно засипається в бункер 1, в якому завантажувальне вікно відкрито

на необхідний розмір щілини, і висипається в дробильну камеру між деками і молотковим ротором, що обертається в камері.

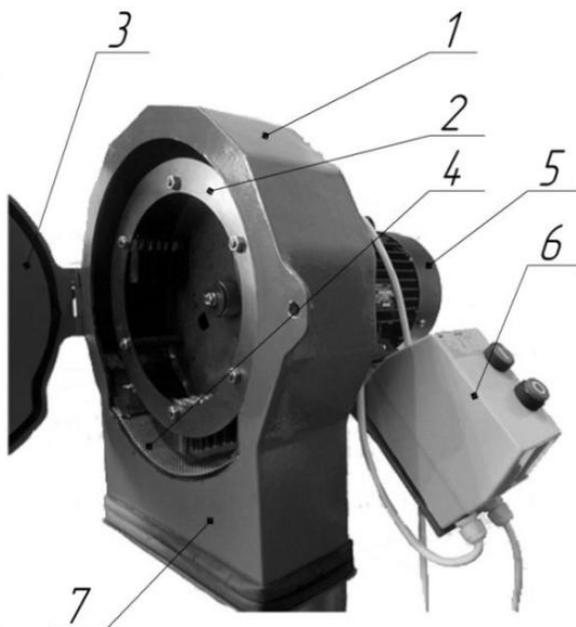


Рисунок 1.3 - Молоткова дробарка МДМ 200/400: 1 – корпус; 2 – ротор з молотками; 3 - дверцята із завантажувальною горловиною; 4 – змінне решето; 5 – електродвигун; 6 - пускорегулююча апаратура; 7 – горловина

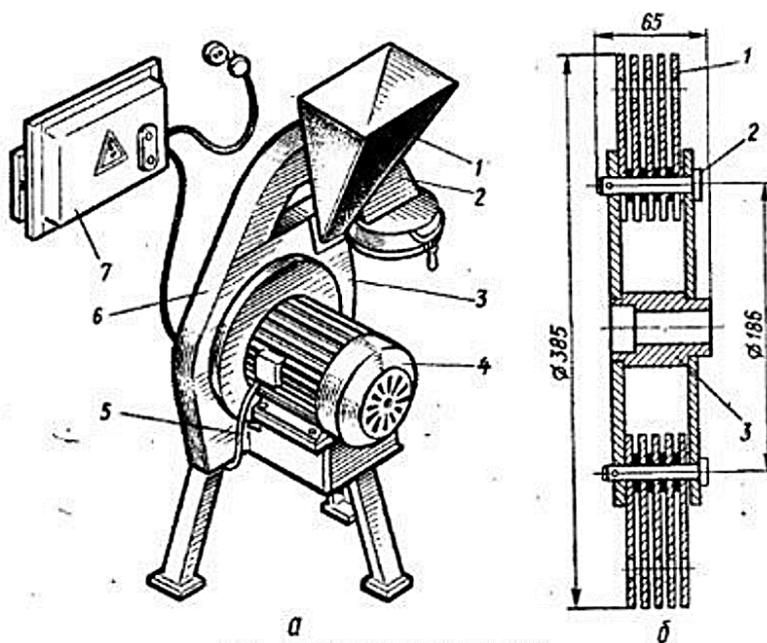


Рисунок 1.4 - Дробарка зерна ДЗ-Т-1: а – загальний вигляд: 1 – завантажувальний бункер; 2 - вивантажувальний патрубкок; 3 – корпус; 4 - електрод-

вигун; 5 – шнур; 6 - напірний канал; 7 – блок конденсаторів; б – молотковий ротор (розріз): 1 – молоток; 2 – палець; 3 - втулка

Подрібнений продукт викидається в напірний канал 6, перекритий на виході решіткою. Дрібні частинки проходять через отвори решета, а частинки, розмір яких перевищує діаметр отворів, захоплюються молотками і знову прямують до дробильної камери на додаткове подрібнення.

Коли одна сторона молотків 1 зносилася, знімають молотки, вийнявши пальці 2 і встановлюють іншою стороною (рис. 1.4, б). Зазор між декою та молотками регулюється затягнутими болтами [96].

Мікродробарку МКД-Ф-1 випускають у двох виконаннях - МКД-Ф-1-І (рис. 1.5) та МКД-Ф-1-Н. В останній продуктивність 35-60 кг/год, споживана потужність 0,45 кВт, довжина 420 мм, висота 525 мм, маса 20,8 кг, інші показники такі самі, як у дробарки МКД-Ф-1-І.

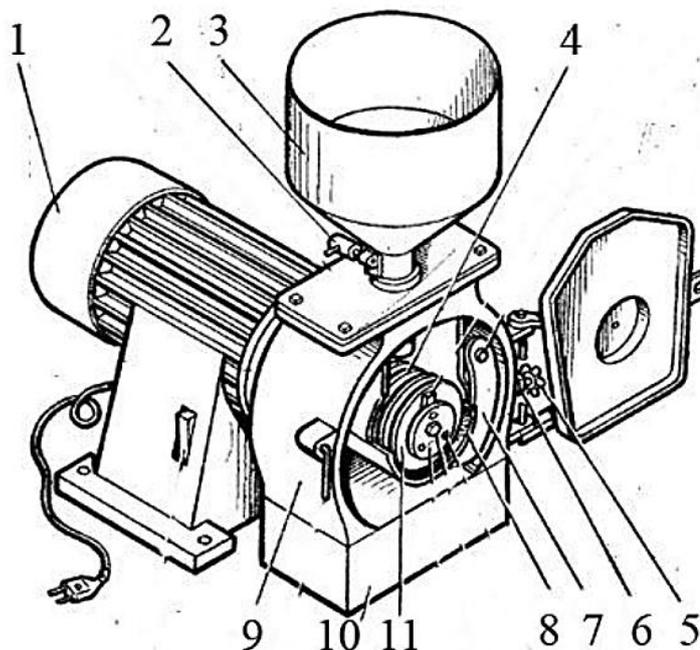
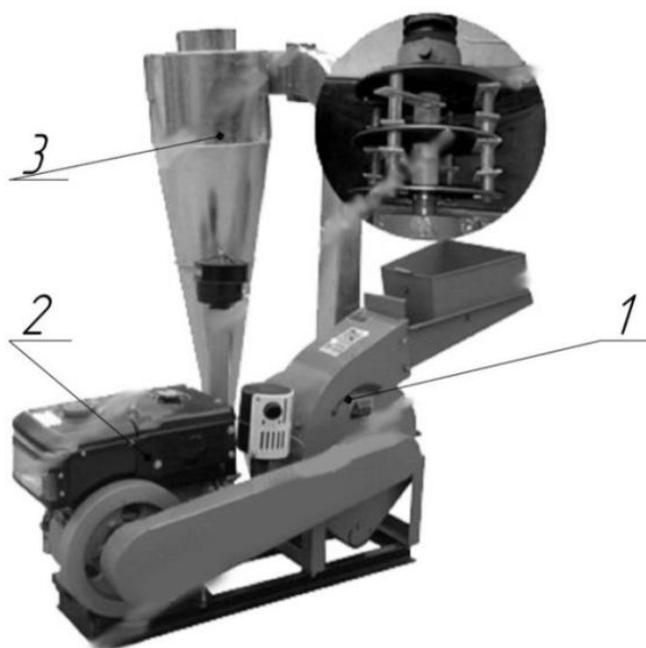


Рисунок 1.5 - Мікродробарка МКД-Ф-1-І: 1 – електродвигун; 2 – вставка; 3 – бункер; 4 – ротор; 5 – гвинт; 6 – гайка; 7 – дека; 8 – решето; 9 – корпус;

10 - мішко-тримач; 11 - фрези

Зерно засипається в бункер 3 (рис. 1.5) і через вставку 2 надходить в корпус 9, де подрібнюється між декою 7 і ротором 4, на якому встановлені фрези 11. Частинки, розмір яких менше діаметра отворів у решітці 8, провалюються в мішок, закріплений на мішко-тримачі 10 (дробарка забезпечена двома решітками - з отворами діаметром 3 та 4 мм). Для якісного подрібнення зерна оптимальний зазор між фрезами 11 та декою повинен бути 0,5мм. Для установки зазору використовують регульовальну пластину 7 притискається гвинтом 5 до упору цієї пластини і гвинт стопориться гайкою 6.

У зернодробилці 9FG-360A фірми Zhengzhou Taizy Trading Co., Ltd. (рис. 1.6) як привод використовується бензиновий 4-х тактний ДВЗ. Крім того, на валу ротора дробарки змонтований вентилятор, а для відділення готового продукту від повітря використовується циклон. Використання ДВЗ як привод дозволяє використовувати молоткову дробарку в місцях, куди підведення електроживлення неможливе.



Малюнок 1.6 - Молоткова дробарка 9FG-360A з приводом ДВЗ: 1 - дробарка; 2 – ДВЗ; 3 - циклон розвантажувач

Дробарки середньої та високої продуктивності орієнтовані на комбикормові заводи, а також на підприємства, що займаються промисловим розведенням сільськогосподарських тварин.

Дробарки знаходять широке застосування в сільському господарстві при виготовленні комбикорму для худоби та птахів. Вони працюють як подрібнювач злакових та плівчастих культур, а також шротів. Дробарка Р1-БДК-М (рис. 1.7) складається з корпусу 1, кришки 2 електродвигуна 3 засувки з приводом 4 і пульта управління. На корпусі є бічний люк 5, оглядове вікно і патрубок приєднання вибухорозрядника 6. Ротор дробарки закріплений безпосередньо на валу електродвигуна 3. На кришці встановлені два аспіраційних рукави. Зміна сита та молотків ротора дробарки проводиться через люк 5. Для подачі зерна на кришці передбачені шнеки-живильники.

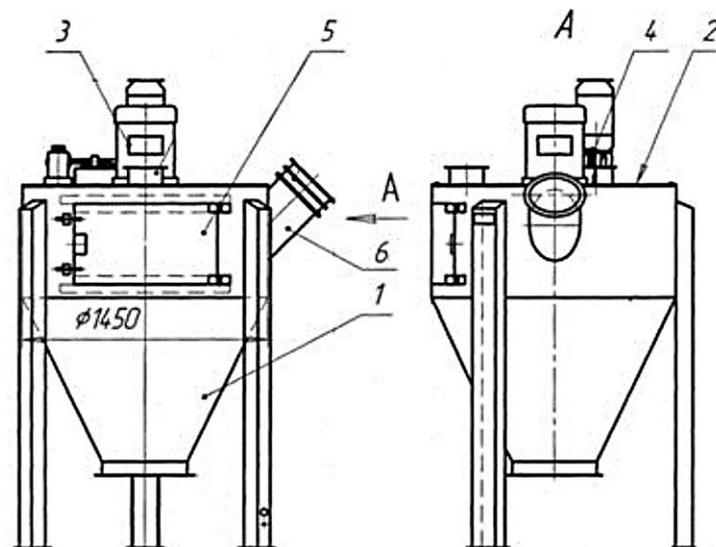


Рисунок 1.7 - Дробарка Р1-БДК-М: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – електродвигун; 4 – засувки з приводом; 5 – люк; 6 - вибухорозрядника

Інша компанія "Доза-Агро" випускає молоткові дробарки. ДКР з горизон-

нтальним розташуванням валу, які служать для подрібнення всіх видів зернових культур, а також шроту, дрібнокускової макухи, лушпиння та інших кормових компонентів.

Спеціальну модифікацію молоткової зернодробилки серії «С» створено для подрібнення соломи та сіна. Зернодробарка ДКР може вбудовуватись у лінії та комплекси для приготування повнораційних комбикормів в умовах господарства. Дробарка ДКР-4 фірми Доза-Агро (рис. 1.8), як і всі дробарки ДКР, не вимагає використання додаткового транспортного обладнання для подачі сировини: автоматичне завантаження та вивантаження продукту відбувається під дією повітряного потоку. Установка змінних сит з різними розмірами перфорації дозволяє регулювати рівень подрібнення продукту. На кришці дробарки встановлений сепаратор, що дозволяє відокремлювати великі мінеральні домішки, в сепараторі також встановлений магніт, що вловлює та відокремлює металомангнітні домішки з продукту, що подається.

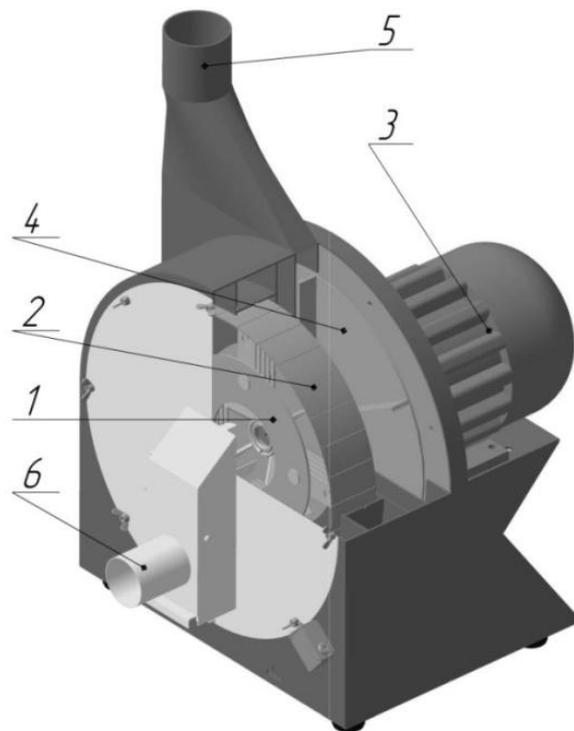


Рисунок 1.8 - Дробарка ДКР-4: 1 – ротор з молотками; 2 – змінне решето; 3 – електродвигун; 4 – вентилятор; 5 – вивантажувальна горловина; 6 - за-

вантажувальна горловина

Ще один тип дробарок УЗ-ДБМ продуктивністю від 3 до 10 т/год потужністю від 15 до 90 кВт. Вони призначені для подрібнення зерна, злакових, пливчастих бобових культур, кукурудзи, зерноsumішей, шроту та мінеральної сировини. Їх особливостями є: реверсивне обертання, великі інспекційні люки з ізоляцією – для зручності внутрішнього доступу, велика площа сит, роторний живильник забезпечує рівномірність потоку продукту, дробарка може працювати як з роторним живильником, так і з електричною засувкою, вбудований в живильник магнітний захист, низьке споживання електроенергії.

Асортимент молоткових дробарок компанії «Технекс» представлений моделлю ДМВ-10 потужністю від 75 до 110 кВт з вертикальним розташуванням валу ротора, а також моделями ДМРТ- 1205 потужністю 110-200 кВт та ДМРТ-1210 потужністю 250-355 кВт з горизонтальним розташуванням валу. Зараз підприємство випускає дробарки серії ММ, призначені для подрібнення зернових, бобових культур, зерноsumішей, гранульованої та іншої сировини подібними фізико-механічними характеристиками до часток потрібних розмірів. Випускається двох модифікацій: для сухого та мокрого подрібнення. Продуктивність становить 4-40 т/год., а потужність дробарок варіюється в діапазоні 37-160 кВт.

Молоткова дробарка КД-2-01 (старе маркування КДУ-2-01) Новоград-Волинського машинобудівного заводу, який працює з 1907 р. та є одним із найстаріших заводів України. За радянських часів КДУ-2-01 була однією з найпоширеніших молоткових дробарок, яка використовувалася у кормовиробництві тваринницьких господарств усіх зон. Зернодробарка КД-2- 01 комплектується електродвигуном 30 кВт або 22 кВт. Кормодробарки серії КД - 2 можуть застосовуватися в кормоцехах, млинах і кормоприготувальні відділення при тваринницьких фермах, а також вбудовуватися в різні кормоприготувальні агрегати. Вологість зерна, що переробляється, повинна бути не біль-

ше 14-16%.

На рис. 1.9 представлена технологічна схема молоткової дробарки КДУ-2-01. Вона складається з корпусу 1, зерно засипається у приймальний бункер 7, звідки воно самопливом потрапляє в дробильну камеру і піддається впливу молоткового ротора 11, досягнувши проходкового розміру дерти через решето 3 потрапляє в приймальний патрубок 2 і далі вентилятором 4 транспортується пневмосистемою. У циклоні 6 відбувається відділення дерти від повітря. Готовий продукт дозується шиббером 5. Повітря від циклону 6 потрапляє до приймального патрубку 8, після чого він частково фільтрується фільтром 9, а решта повертається в дробильну камеру.

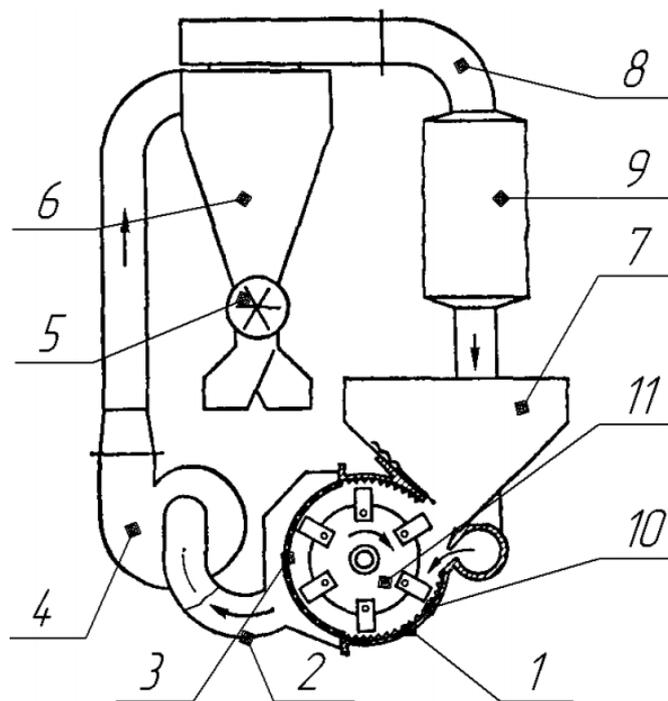
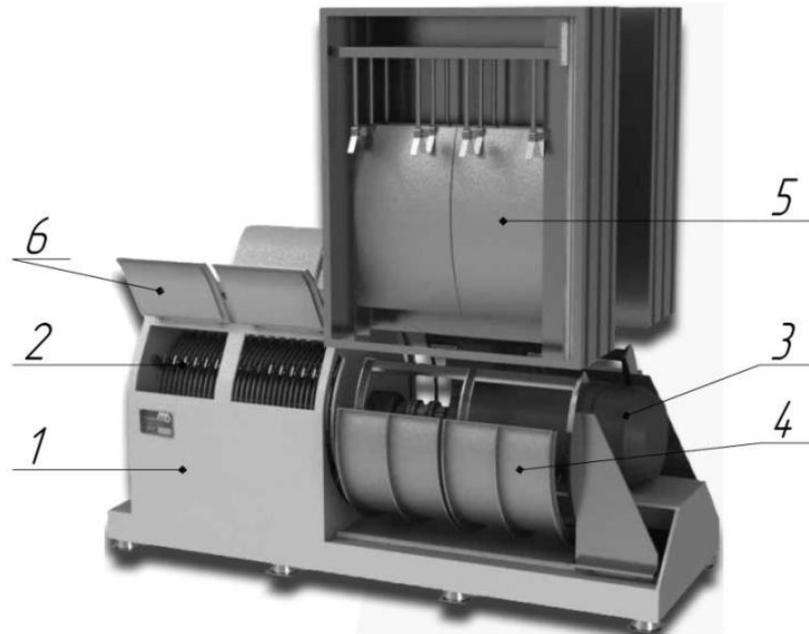


Рисунок 1.9 - Технологічна схема молоткової дробарки КДУ-2-01: 1 – корпус; 2 - приймальний патрубок; 3 – решето; 4 – вентилятор; 5 – шиббер; 6 – циклон; 7 – приймальний бункер; 8 - приймальний патрубок; 9 – фільтр; 10 – дека; 11 - молотковий ротор

На рис. 1.10 представлена молоткова дробарка Namex нідерландської фірми Dinnissen. Ці дробарки обладнуються системою автоматичної заміни сита. Шафа із ситами може вмістити від 3 до 5 сит. Дробарки можуть бути оснащені інтелектуальною системою камер, що дозволяє автоматично контролювати будь-які пошкодження сит із диспетчерської.



Малюнок 1.10 - Молоткова дробарка Namex: 1 - корпус дробильної камери; 2 – молотковий ротор; 3 – електродвигун; 4 - змінне решето; 5 - шафа зі змінними решітками; 6 - кришка оглядового люка

Інша нідерландська фірма VanArsen є однією з провідних фірм з виробництва молоткових дробарок. Асортимент молоткових дробарок представлений серіями GD та 2D продуктивністю 20-100 та 5-25 тон на годину відповідно. Опціонально молоткові дробарки серії GD оснащуються системою Automatic Screen Exchange, що дозволяє автоматично робити заміну решіт.

Швейцарська фірма Buhler веде свою історію з 1860 р. Зараз вона випускає молоткові дробарки серії DFZK з вертикальним розташуванням валу та

продуктивністю від 40 до 70 тон/годину, а також серії DFZC потужністю до 250 кВт. Молоткова дробарка серії DFZP комплектується електромотором потужністю до 400 кВт, продуктивністю до 75 т/год і дозволяє провести заміну решіт і молотків менш ніж за 30 хвилин.

Китайська фірма Muyang в даний час займає вагому частину в загальному обсязі молоткових дробарок, що випускаються. Її асортимент представлений молотковими дробарками із горизонтальним розташуванням валу ротора SWFL66 потужністю від 55 до 250 кВт, SWSP112 потужністю від 55 до 75 кВт, SWSP132 потужністю від 90 до 160 кВт, та дробарки з вертикальним розташуванням ротора серії SWFL потужністю від 90 до 160 кВт.

Австрійська фірма ANDRITZ була заснована у 1852 р. у м. Граці угорським підприємцем Josef Körösi. Зараз вона випускає молоткові дробарки серії Multimill B потужністю 45-335 кВт, Multimill 01 – 160-250 кВт, Optimill – 160-355 кВт.

Нідерландська компанія Wuyveen пропонує молоткові дробарки серія GHM продуктивністю від 5 до 60 т/год встановленою потужністю до 400 кВт, а також GHM з автоматичною заміною сит, HM продуктивністю від 5 до 50 т/год потужністю до 250 кВт.

Нідерландська фірма Ottevanger випускає молоткові дробарки серії Type 670 потужністю від 110 до 315 кВт, а також серії Type 1200 із можливістю автоматичної заміни сит потужністю від 132 до 355 кВт.

Німецька фірма Retkus випускає молоткові дробарки серії 1300/800 продуктивністю до 20 т/год та потужністю до 200 кВт.

Литовська фірма Gruber випускає молоткові дробарки серії Ultra з потужністю електродвигуна від 7,5 до 55 кВт та продуктивністю від 500 до 7000 кг/год. Особливістю дробарок цієї серії є розташування лопаток вентилятора на периферії дробильної камери.

Відцентровий пиловий вентилятор мають молоткові дробарки компанії

«Пламя» (Республіка Білорусь) серії ДКМП потужністю від 15 до 30 кВт, а також польські дробарки «Dozamech» та «Zurtop», з потужністю електродвигуна 22 кВт кожна.

Асортимент безрешітних молоткових дробарок представлений слабо. Могилів-Подільський машинобудівний завод постачає безрешітну дробарку ДМБ-10 продуктивністю 8-12 т/год із потужністю приводу 76,5 кВт. Дерт, що отримується при подрібненні зерна на цій дробарці, має залишок на ситі з діаметром отворів 3 мм – 5 – 30 %.

Інша безрешітна дробарка ДБ-5 має продуктивність за експлуатаційним часом 1,8 т/год на зерні ячменю вологістю 12-14%, продукту, що має залишок на ситі з отворами діаметром 3 мм, не більше ніж 5 %, при цьому потужність електродвигуна становить 30 кВт.

З наведеного огляду випливає, що виробництвом молоткових дробарок займаються підприємства у багатьох країнах світу та їх асортимент дуже великий. Дане різноманіття можна довести тим, що при подрібненні сипких продуктів у господарствах різного розміру використовують саме молоткові дробарки.

Основним робочим органом, що регулює ступінь подрібнення, є решето, тому для отримання продуктів з різним ступенем подрібнення необхідно мати набір решіт з різними діаметрами отворів. Деякі виробники через неоднорідність подрібнюваного матеріалу в технічних характеристиках до подрібнювальних машин не вказують їх продуктивність. В силу великого вмісту великих частинок в продукті безрешітні дробарки не знаходять широкого застосування у виробництві комбікормів. Слід також зазначити, що для відведення та транспортування продукту широко використовуються вентилятори.

1.3 Напрямки розвитку конструкцій молоткових дробарок

У своїй роботі Устюгов С. Ю., проводячи дослідження молоткової дробарки з колосниковими решетами, дійшов висновку, що на більшості режимів роботи вміст цілих зерен у готовому продукті не відповідає зоотехнічним вимогам. Максимальна пропускна здатність дробарки досягається при коловій швидкості $V = 85$ м/с, при цьому сильно зростають питомі енерговитрати. «Живий» переріз колосникових решіт недостатній для своєчасного відведення подрібнюваного продукту. Спостерігається яскраво виражене переподрібнення матеріалу. Крім того, високі колові швидкості молотків тягнуть за собою прискорене зношування робочих органів та підвищені енерговитрати на холостий хід.

За результатами патентних досліджень Лодигін Д. Г. пропонує використовувати дробарку зерна, у якій в торцевих поверхнях дробильної камери встановлені сепаруючі решета з регульованими за площею отворами, а по периферії молоткового ротора рифлена дека (рис. 1.11).

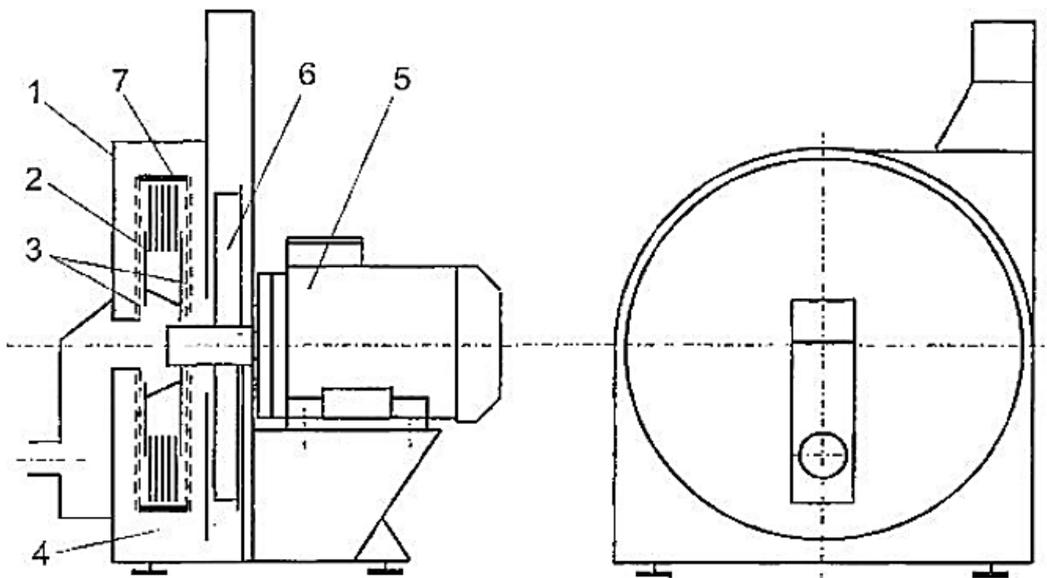


Рисунок 1.11 - Молоткова дробарка з торцевими решетами: 1 – корпус; 2 – молотковий ротор; 3 – сепаруючі решета; 4 – осаджуюча камера; 5 – електродвигун; 6 – крильчатка вентилятора; 7 – дека

Молоткова дробарка включає в себе корпус 1, всередині якого розташовані молотковий ротор 2, дека 7, осаджувальна камера 4, регульовані по площі отвори решета 3, виконані у вигляді нерухомих і рухомих решіт з круглими отворами діаметром 6 мм і мають можливість горизонтального переміщення, крильчатка вентилятора 6, яка встановлена на валу електродвигуна 5.

Результати досліджень щодо впливу площі отворів на робочий процес дробарки показали, що зміною площі регульованого отвору k_s з 48 до 78 мм² можна варіювати середнім розміром частинок готового продукту, при цьому пропускна спроможність Q зменшується зі зменшенням площі регулюємого отвору. Запропоноване рішення дозволяє знизити питомі енерговитрати в порівнянні з базовим варіантом, а також зменшити вміст цілих зерен у готовому продукті.

Досліджуючи процес подрібнення у молоткових дробарках, Поярков М. С. пропонує використовувати жалюзійні ґрати. На малюнку 1.12 зображено конструктивну схему з запропонованим рішенням. Ця дробарка працює наступним чином. Підлягає подрібненню матеріал подається дозатором 1 дробильну камеру 4. Потрапляючи на молотковий ротор 3, матеріал відкидається в напрямку деки 5 і подрібнюється при взаємодії з декою та молотковим ротором 3. Великі частинки матеріалу концентруються поблизу деки 5, дрібні знаходяться у зваженому стані в обсязі дробильної камери і через сепаратори 6 і 7 повітряним потоком, створюваним ротором, що обертається, виводяться із зони подрібнення в порожнину корпусу 2, що виконує функцію осадника. Через фільтр 8 відбувається видалення надлишкового об'єму повітря, що надходить з вихідним матеріалом. Через змішувач готовий продукт виводиться з корпусу.

При розташуванні жалюзійних сепараторів з двох сторін дробильної камери та напрямку руху повітряно-продуктового потоку зустрічно стулкам жалюзі спостерігається зниження енергоємності процесу подрібнення порівняно

з решітним варіантом сепараторів за однакової пропускної здатності та ступеня подрібнення матеріалу. При цьому покращилася якість готового продукту, оцінена коефіцієнтом варіації розмірів частинок дерті.

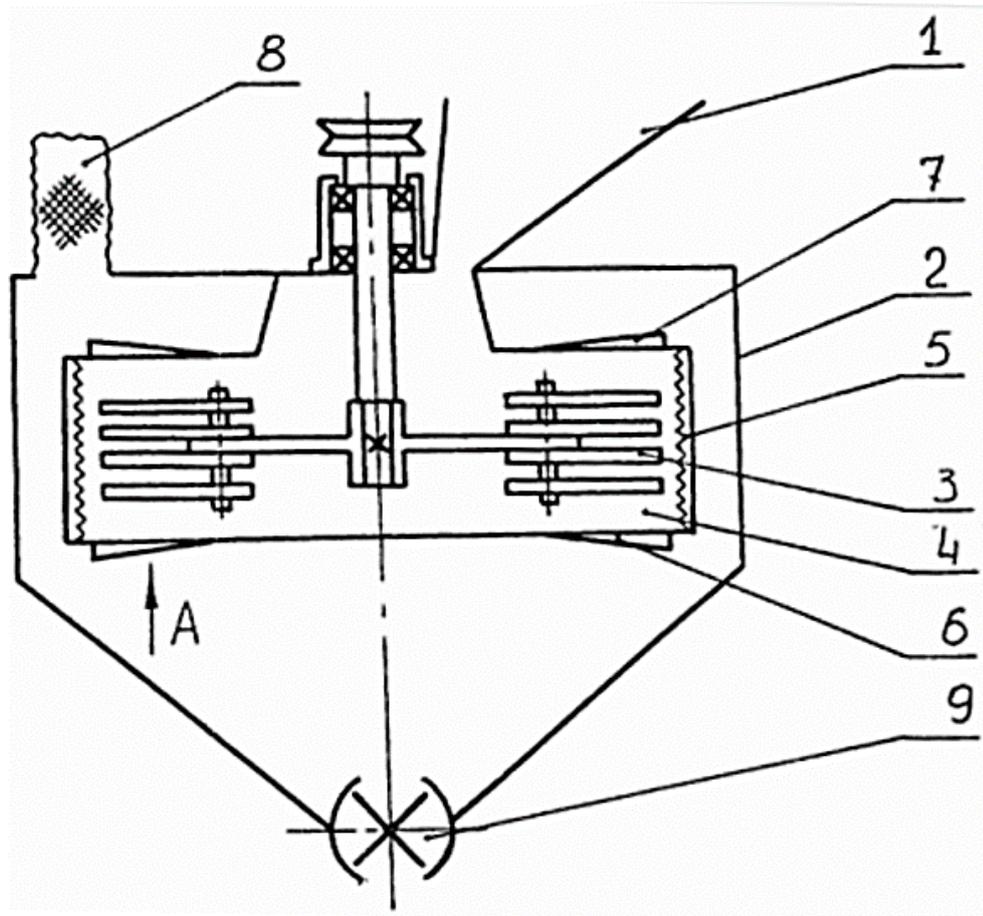


Рисунок 1.12 - Молоткова дробарка із жалюзійними решетами: 1 – дозатор; 2 – корпус; 3 – молотковий ротор; 4 – дробильна камера; 5 – дека; 6, 7 – жалюзійні ґрати; 8 – фільтр; 9 - змішувач

У своїй роботі Федоров О. С. пропонує підвищити ефективність функціонування молоткової дробарки шляхом удосконалення способу сепарації. Для реалізації нової технологічної схеми сепарації змінено конструкцію молоткової дробарки зерна типу КДУ - видалено решето, що сепарує, з камери подрібнення та встановлено решето нової конструкції у циклоні 1 дробарки (рис.

1.13). В даному випадку поділ подрібненого матеріалу відбувається на 2. Частинки, що досягли потрібного розміру, проходять між стінкою циклону та сепаруючого решета і вивантажуються, а недоподрібнені частки йдуть на повторне подрібнення.

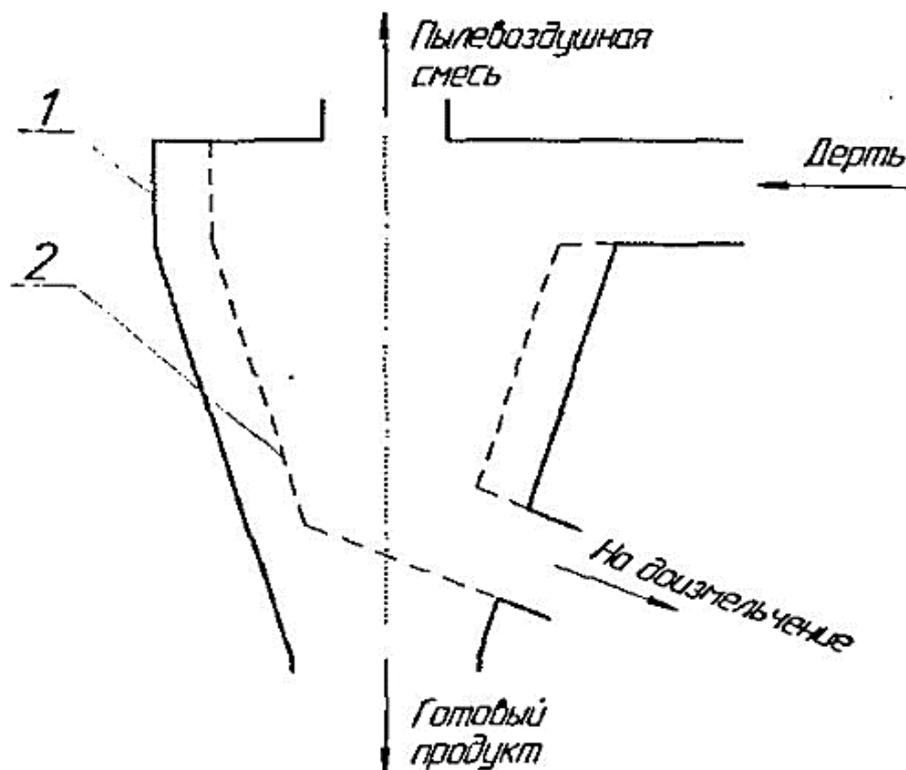


Рисунок 1.13 – Конструктивно-технологічна схема циклону сепаратора: 1 – циклон; 2 - решето

При експериментально встановлених оптимальних конструктивно-технологічних параметрах дробарки спостерігається зниження енергоємності процесу, проти базового варіанту. У цьому подрібнений продукт відповідає зоотехнічним вимогам всіх груп тварин. Підвищити ефективність процесу подрібнення зерна Турубанов Н. В. пропонує шляхом поділу дерті повітряним потоком у дробарці зерна відкритого типу з пневмосепаруючим каналом.

Аналіз отриманих експериментальних результатів показує, що зміною

кута установки напрямних та положенням повітряної заслінки не вдається досягти необхідної якості готового продукту. Вміст цілих зерен у всіх дослідах перевищує допустиму величину. У зв'язку з цим для зниження кількості цілих зерен у готовому продукті у дробильній камері встановлено решето 2 (рис. 1.14).

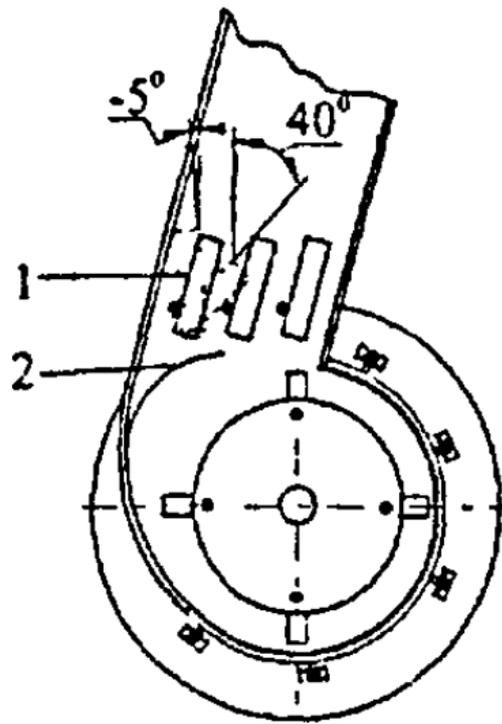


Рисунок 1.15 - Конструктивне рішення по заявці на патент № 20021099: 1 – напрямні; 2 - решето

Після встановлення решета, за результатами експериментальних даних, можна сказати, що вміст цілих зерен у продукті знизився. Енергоємність процесу подрібнення проти базовим варіантом також зменшилася.

З наведеного огляду наукових досліджень можна зробити висновок, що роботи ведуться шляхом удосконалення робочих органів молоткових дробарок з метою зниження енергоємності процесу, а також підвищення якості продукту. Однак цього замало. Наприклад, деякі рішення дуже складні у серійному виробництві, що неодмінно позначається на вартості виробу. Тому, крім

удосконалення конструкції, необхідно вдосконалювати та режим роботи молоткової дробарки з метою отримання якісного продукту з мінімальними енерговитратами.

1.4 Вплив решета на робочий процес

Про вплив решета на робочий процес молоткових дробарок автори наукових праць не мають єдиної думки. Вплив площі поверхні решета на основні показники процесу подрібнення зерна вивчали багато вчених. Більшість із них дійшло висновку, що пропускна здатність дробарки зростає зі збільшенням площі поверхні решета.

Деякі дослідники вважають, що для інтенсифікації подрібнення необхідно збільшувати площу деки за допомогою скорочення розмірів решета. Єлісеєв В. А. зазначає, що зі збільшенням площі решета в 3 рази пропускна здатність дробарки збільшується на 40...50%. А можливість проходу частинок через отвори решета залежить від швидкості руху повітряно-продуктового шару. Чим більша швидкість, тим менша пропускна здатність решета.

Одним із способів підвищення ефективності решета є зменшення діаметра дробильної камери. За даними збільшення кута охоплення решетом з 90 до 360 ° при центральному завантаженні та з 120 до 360 ° при радіальному завантаженні зерна в дробильну камеру підвищує пропускну здатність дробарки на 20...46 % та знижує енерговитрати на 19%.

В. Р. Алешкін та С. В. Мельников зазначає, що пропускна здатність решета визначається коефіцієнтом живого перерізу, тобто відношенням площі отворів, через які подрібнений продукт залишає дробильну камеру до площі поверхні решета. Зі збільшенням коефіцієнта живого перерізу решіт від 0,3 до 0,55 при подрібненні різних культур питомі енерговитрати зменшуються в се-

редньому на 12...20% при незначному збільшенні модуля помелу. Це пояснюється підвищенням ймовірності проходження часток через отвори сепаруючої поверхні.

Аналіз роботи ситової поверхні дробарок з горизонтальним ротором показує, що найбільш інтенсивне просіювання здійснюється у нижній частині решета. Для збільшення пропускної спроможності дробарки необхідно забезпечувати рівномірний вихід продукту по всій поверхні решета. При подрібненні стеблових матеріалів із збільшенням розмірів отворів решіт знижуються питомі енерговитрати, і підвищується пропускна спроможність дробарки.

Збільшення діаметра отворів решета з 8 до 20 мм найбільше істотно позначається на збільшенні пропускної спроможності дробарки порівняно з питомими енерговитратами. При дрібному подрібненні грубих кормів збільшення діаметра отворів сита понад 30 мм при незмінній швидкості молотків не надає суттєвого впливу дисперсність кінцевого продукту.

Енерговитрати зменшуються на 25...50 % (залежно від лінійної швидкості молотків) зі збільшенням діаметра отворів із 8 до 22 мм. Автори рекомендують оптимальний діаметр отворів решіт 20 мм. При подрібненні зерноsumіші з гороху, пшениці, ячменю, кукурудзи, вівса збільшується пропускна здатність дробарки на 1,2...15,1% та знижуються питомі енерговитрати на 3,9...15,2% порівняно з подрібненням окремих компонентів. При цьому найбільший ефект досягається на решетах діаметром 5 мм.

У своїх працях Гіршин М. Є. Роцин П. М. відзначають, що при використанні лускатого решета для подрібнення листостеблової маси на молотковій дробарці агрегату АВМ-0,4 потужність робочого ходу та питома витрата енергії подрібнення значно нижча, ніж при постановці решета з круглими отворами.

Отримані експериментальні дані показали, що застосування молоткової дробарки з решетом спіралеподібної форми дозволяє знизити загальні питомі

витрати енергії на подрібнення проти серійної на 35%. Зі всього сказаного вище випливає, що роль решета в організації процесу подрібнення зерна дуже висока. Аналіз численних наукових праць дозволяє зробити висновок, що результати досліджень носять неоднозначний, а часом і суперечливий характер. У зв'язку з цим вплив решета на робочий процес молоткової дробарки потребує додаткового вивчення.

1.5 Висновки

З проведеного огляду випливає:

1. Молоткові дробарки нині активно використовуються для підготовки зерна та інших сипких продуктів до згодовування;

2. Своє застосування вони знайшли у господарствах різного розміру, починаючи від присадибних господарств, закінчуючи великими комбикормовими заводами та агрохолдингами;

3. При подрібненні кормів на молоткових дробарках решето є регулятором ступеня подрібнення, зміни якого одне решето необхідно замінити іншим. У ряді конструкцій дробарок зарубіжного виробництва використовується система автоматичної заміни решіт. Однак застосування такого конструктивного рішення обов'язково тягне у себе збільшення металоємності, габаритних розмірів, вартості виробу. Ускладнюється конструкція та як наслідок знижується надійність;

4. Для відведення подрібненого матеріалу, а іноді і для завантаження дробильної камери, що широко використовують вентилятори, що монтуються на валу дробильного ротора, інтегровані з ним або які встановлюються окремо;

5. Аналіз наукових праць показав, що конструктивно-режимні параметри роботи молоткової дробарки вимагають подальшого вивчення та вдоскона-

лення.

2 Теоретичне обґрунтування нової дробарки

2.1 Обґрунтування напрямків удосконалення

Внаслідок модернізації галузі кормовиробництва зростають вимоги до продуктивності обладнання, його ефективності, вартості. Велика увага приділяється антиживильним факторам, викликаним порушенням технологічних режимів виробництва кормових компонентів, а також питанням безпеки щодо обслуговуючого персоналу та навколишнього середовища. До якості корму, що отримується, так само виставляються все більш високі вимоги.

Згубний вплив цілого та неподрібненого зерна на продуктивність і здоров'я тварин описано в роботах багатьох авторів, до того ж залишок на ситі з діаметром отворів 3 та 5 мм регламентується ДСТУ.

Проаналізувавши наукову літературу, було зроблено висновок, що вміст пилоподібної фракції також знижує продуктивність і збільшує захворюваність і відхід тварин. Частки тонкого помелу (діаметром менше 0,2 мм), утворюючи конгломерати, затримуються в рубці ВРХ 2...4 години, а середнього та великого помелу 6...9 годин. Аналогічна ситуація відбувається і з іншими тварин. Так, за даними досліджень Канзаського (США) університету, згодовування поросяткам ячмінної дерті середнім розміром 0,3 мм приріст становив 750 г/добу, тоді при згодовуванні дерти середнім розміром 0,7 мм - 950 г/добу.

Потрапляючи до рота тварин пилоподібна фракція, змочуючись слиною, утворює тістоподібну масу, яка забиває горло тварин. Крім того, переподріб-

нені частки забивають ворсинки шлунка, після чого погіршується перетравлюваність корму.

Негативно вплив переподрібненого продукту необхідно розглядати і з технологічного боку. Тонкоподрібнений продукт губиться (до 5 % маси) при навантаженні, розвантаженні, транспортуванні та при роздачі кормів, погіршує умови праці, а в суміші з повітрям утворює вибухонебезпечне середовище. Крім того, пилоподібна фракція викликає легеневі захворювання не тільки у тварин, а й у людини.

В результаті аналізу технологічних схем серійних та дослідно конструкторських молоткових дробарок зробили висновок, що решето є практично єдиним робочим органом, здатним впливати на ступінь подрібнення, а також на якісні показники корму (вміст пилоподібної фракції, залишок на ситах з діаметром отворів 3 та 5 мм.). Заміна решіт, як спосіб зміни ступеня помелу, знижує ступінь використання обладнання та збільшує травматизм. Крім того, вентилятор, що використовується в молоткових дробарках для евакуації та транспортування подрібненого продукту, а в деяких випадках і для завантаження, через свої конструктивні особливості споживає велику кількість енергії. Тому оптимізація конструктивно-режимних параметрів молоткової дробарки є актуальним завданням.

2.2 Обґрунтування використання решіт з прямокутними отворами

У роторних подрібнювачах ударно-стираючої принципу дії, до яких можна віднести молоткові дробарки, повітряно-продуктова суміш рухається з великими швидкостями. Радіальна та осьова складові у багато разів менше окружної швидкості, тому їх можна знехтувати. При розгляді руху частинок у дробильній камері молоткової дробарки, можна сказати, що кільцевий шар переміщується у напрямку обертання ротора та із середньою швидкістю рівної половині швидкості молотків, причому швидкість цього шару на поверхні сита та деки 18-22 % від окружної швидкості молотків.

У деяких роботах представлені результати досліджень лабораторних млинів, у яких для вивчення траєкторії руху частинок застосовано метод стробоскопічної зупинки ротора. Авторам вдалося спостерігати рух частинок із швидкостями, відмінними від швидкості молотків. Виявилось, що частки здійснюють стрибкоподібний рух і переміщуються вздовж деки хордами. Чим більша частка, тим більшою хордою вона рухається. Дрібні частинки, що мають більшу парусність, при відображенні від деки не досягають зони дії молотків, а великі частинки зазнають багаторазових повторних ударів та подрібнення. Однак під час руху частинок по поверхні решета величина хорд зменшується і можна припустити, що максимальна кількість подрібнюваного матеріалу рухається рівномірно поверхнею решета.

У ході літературного огляду було з'ясовано, що решето, яке встановлюється в більшості молоткових дробарок, має отвори круглої форми. У ході теоретичного обґрунтування адекватності використання решета з прямокутною формою отворів використовуватимемо методи, що використовуються в математиці, фізиці, теоретичній механіці.

Розглянемо рух частинки діаметром d через отвір решета (рис. 2.1). У процесі руху на неї діятимуть сили, що представлені на рис. 2.1. Результуюча всіх сил R запишеться у вигляді:

$$\overline{R} = \overline{R}_A + \overline{R}_H + \overline{R}_C + \overline{R}_B + \overline{R}_T, \quad (2.1)$$

де R_T – сила тяжіння, спрямована вертикально вниз,

R_A – сила аеродинамічного потоку,

R_H – відцентрова сила. Сили R_A і R_H спрямовані нормалі до поверхні решета.

R_C - сила лобового опору,

R_B - штовхаюча сила із боку повітряно-продуктового шару. Сили R_C та R_B спрямовані перпендикулярно R_H та розташовані у площині обертання рото-

ра дробарки. Приймаючи припущення, описані вище, можна сказати, що дія всіх сил розташована в площини xoy .

Оскільки сила тяжіння R_T дуже мала в порівнянні з іншими силами, то її можна знехтувати.

$$R_A = m \cdot k_n \cdot v_a^2, \quad (2.2)$$

де m – маса частинки;

k_n – коефіцієнт парусності;

v_a – швидкість повітряного потоку в отворі решета.

$$R_{\text{ц}} = m \cdot \frac{v_{\text{ч}}^2}{r}, \quad (2.3)$$

де r – радіус кривизни решета;

$v_{\text{ч}}$ – колова швидкість частки.

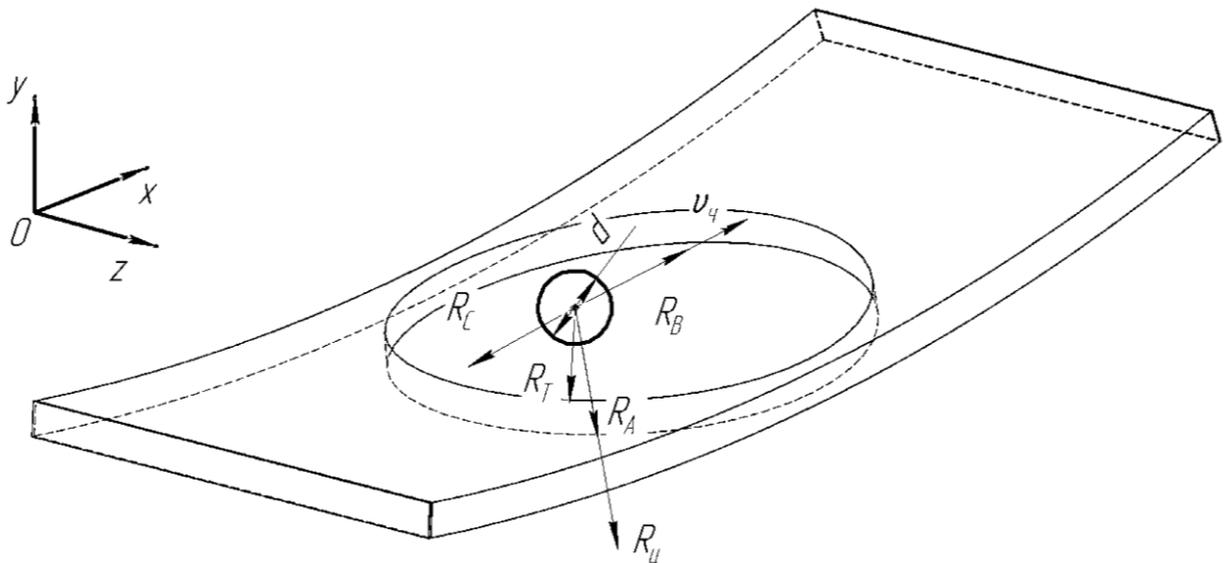


Рисунок 2.1 - Схема проходження частки через отвір решета

З джерел можна прийняти:

$$v_q = 0,2 v_M, \quad (2.4)$$

де v_M - колова швидкість молотків.

Оскільки рух частинки поверхнею решета рівномірний, то:

$$\overline{R_C} + \overline{R_B} = 0, \quad (2.5)$$

$$R = \frac{\rho \cdot \pi \cdot d^3}{6} \cdot \left(k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_q^2}{r} \right), \quad (2.6)$$

де ρ – щільність частки;

d – діаметр частки.

Для того щоб частка гарантовано залишила дробильну камеру, вона повинна за деякий час Δt поринути в отвір решета на деяку відстань Δs .

$$\Delta s = \frac{R \cdot \Delta t^2}{2 \cdot m}. \quad (2.7)$$

Час Δt із виразу 2.7 з урахуванням виразу 2.6 запишемо у вигляді:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta s}{k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_q^2}{r}}}. \quad (2.8)$$

За час Δt частка подолає відстань AB (рис. 2.2).

$$\Delta t = \frac{AB}{v_q}. \quad (2.9)$$

Прирівнюючи вирази 2.8 та 2.9 отримаємо:

$$\frac{AB}{v_c} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta s}{k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_c^2}{r}}}, \quad (2.10)$$

$$AB = v_c \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta s}{k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_c^2}{r}}}. \quad (2.11)$$

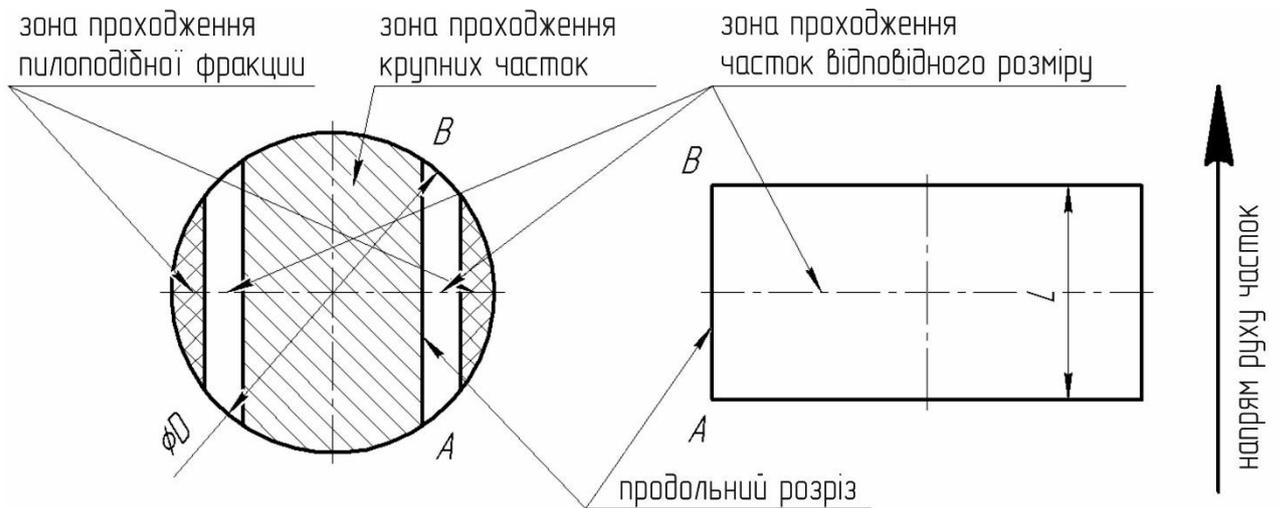


Рисунок 2.2 - Обґрунтування використання решета з прямокутними отворами

Параметр Δs пов'язують прямою функціональною залежністю з діаметром частки d , тобто:

$$\Delta s = f(d). \quad (2.12)$$

Підставляючи вираз 2.12 до 2.11 отримаємо:

$$f(d) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{AB}{v_q} \right)^2 \cdot \left(k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_q^2}{r} \right). \quad (2.13)$$

Проаналізувавши рівняння 2.13 можна сказати, що поздовжній розмір отвору (відрізок АВ на рис. 2.2) буде впливати на розмір частинок, здатних пройти через отвір решета. У решетах з круглими отворами відрізок АВ являтиме собою хорду, проведену у площині обертання ротора. У центральній частині отвори цей відрізок максимальний і дорівнює діаметру отвору. У цій частині проходять як великі частинки, так і пилоподібна фракція. До країв відрізок АВ зменшується до нульового значення. Тим самим можна виділити зону, де проходитиме лише пилоподібна фракція. Тому кругла форма отворів решета сприяє як проходженню великих частинок, а іноді і цілих зерен, так і утворенню пилоподібної фракції.

На відміну від круглих, у прямокутних отворах поздовжній розмір постійний, тому створюються умови для утворення матеріалу, що має більше вирівняний гранулометричний склад, з меншим вмістом пилоподібної фракції та цілих зерен.

2.3 Вплив прямокутної форми отворів на якість продукту

При знаходженні залежності діаметра частинок d , здатних залишити дробильну камеру, від поздовжнього розміру АВ отвори решета візьмемо до уваги той факт, що частинки в дробильній камері рухаються поверхнею решета пухким шаром і можливість потрапити в отвір у цих частинок однакова.

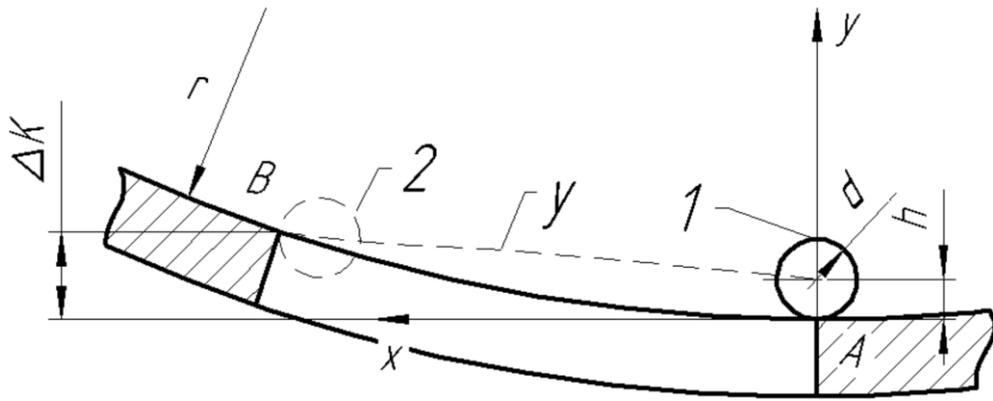


Рисунок 2.3 - Проходження частки через отвір решета

Розглядаючи проходження частки 1 через отвір решета з радіусом кривизни r (рис. 2.3) у перерізі, що збігається з площиною обертання ротора, граничною умовою проходження частки 1 діаметром d біля кромки А приймемо положення, при якому траєкторія руху її центру мас буде спрямована на кромку В (частка 2).

Розглянемо проходження частки 1 через отвір з поздовжнім розміром решета АВ та радіусом кривизни r (рис. 2.3). Запишемо нерівність, за дотримання якої відбудеться відведення частки:

$$\Delta K \geq y, \quad (2.14)$$

де y - координата руху центру ваги частки

$$\Delta K \approx r - \sqrt{r^2 - AB^2}. \quad (2.15)$$

Для знаходження рівняння руху центру тяжіння у скористаємося системою рівнянь:

$$\begin{cases} y = h - \frac{R \cdot \Delta t^2}{2 \cdot m}, \\ x = v_q \cdot \Delta t \end{cases} \quad (2.16)$$

де h - початкова координата центру ваги частки 1. Виразивши Δt через x отримаємо:

$$y = h - \frac{R \cdot x^2}{2 \cdot m \cdot v_q^2}. \quad (2.17)$$

Виразимо величину R через рівняння 2.6 і переписавши формулу 2.17, отримаємо:

$$y = h - \frac{\left(k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_q^2}{r} \right) \cdot x^2}{2 \cdot v_q^2}. \quad (2.18)$$

Остаточно нерівність 2.14 набуде вигляду:

$$r - \sqrt{r^2 - AB^2} \geq h - \frac{\left(k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_q^2}{r} \right) \cdot x^2}{2 \cdot v_q^2}. \quad (2.19)$$

Розглянемо, як форма отворів впливає на максимальний розмір частинок d_{\max} , здатних пройти через отвір решета. Виразивши величину h як $d_{\max}/2$, отримаємо вираз, що описує залежність розміру частинок, здатних залишити подрібнювальну камеру, від поздовжнього розміру отвору:

$$d_{\max} \leq \frac{\left(k_n \cdot v_a^2 + \frac{v_q^2}{r} \right) \cdot AB^2}{v_q^2} + 2 \cdot \left(r - \sqrt{r^2 - AB^2} \right). \quad (2.20)$$

У решетах з прямокутною формою отворів параметр АВ постійний і дорівнює L, а з круглою – змінюється від 0 до D та описується рівнянням:

$$AB = 2 \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - Z^2}, \quad (2.21)$$

де D – діаметр круглого отвору;

Z – відстань від центру отвору до центру ваги частки осі z.

Вважаючи, що в подрібнювальній камері полідисперсний матеріал рухається пухким шаром і ймовірність попадання частинок у створ отвору однакова отримаємо, що у решетах з круглими отворами в центральній частині проходять як великі частинки, так і дрібні, у той час як біля краю виводяться тільки дрібні частки. Прямокутна форма інваріантна і по всій ширині отвору створено однакові умови для відводу частинок. Тому умовою знаходження необхідного поздовжнього розміру L прямокутного отвору є отримання дерті однакового модуля помелу як на решетах з прямокутною, так і круглою формою отворів (рис. 2.4).

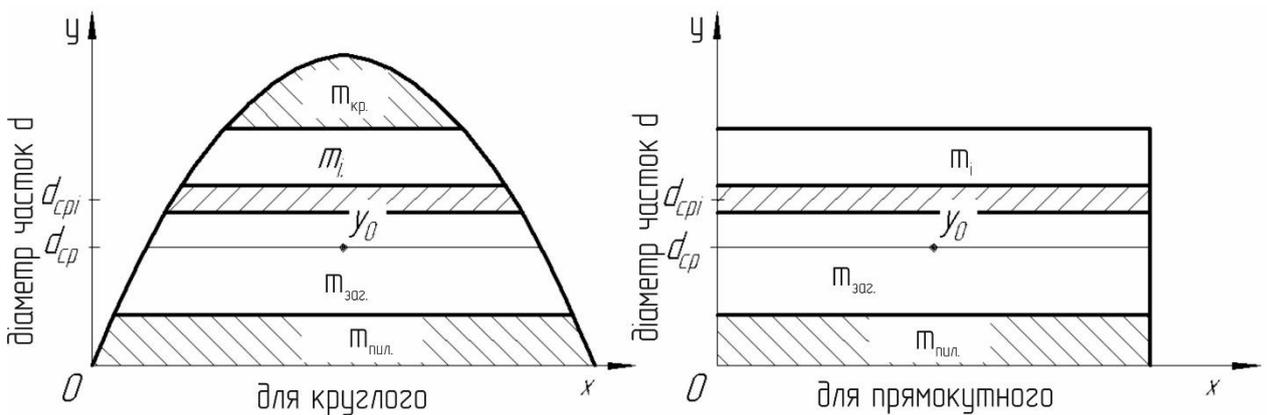


Рисунок 2.4 - Залежність максимального діаметра частинок, здатних залишити дробильну камеру

Умовою знаходження значення L еквівалентному діаметру круглого отвору D є рівність координат центру ваги фігур, масою $m_{\text{заг.}}$, що описуються обома графіками. Координата y_0 фігури, що описується графіком модуль помелу. Її знайдемо з виразу:

$$y_0 = \frac{1}{2} \frac{\int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} d_{\text{max}}^2 dx}{\int_{-\frac{D}{2}}^{\frac{D}{2}} d_{\text{max}} dx}. \quad (2.22)$$

Провівши обчислення за допомогою прикладної програми MathCad отримаємо, що за однакових умов роботи молоткової дробарки, з метою отримання однакового модуля помелу, поздовжній розмір L прямокутного отвору необхідно прийняти на 10,6% меншим ніж діаметр круглого отвору D .

Прийнявши припущення, описані вище, а також задавши початковими умовами ($D=6\text{мм}$, $L=5,36\text{ мм}$, $k_{\text{п}}=8\text{ м}^{-1}$, $v_a=32\text{ м/с}$, $v_{\text{ч}}=13\text{ м/с}$, $r=0,25\text{ м}$), побудуємо графік розподілу діаметра частинок для круглого та прямокутного отворів (рис. 2.5). Для цього знайдемо відсоткове співвідношення кожного класу R_i з рівняння:

$$R_i = \frac{m_i}{m_{\text{обц}}}, \quad (2.23)$$

де m_i - маса i -го класу,

$m_{\text{заг}}$ - маса навішування.

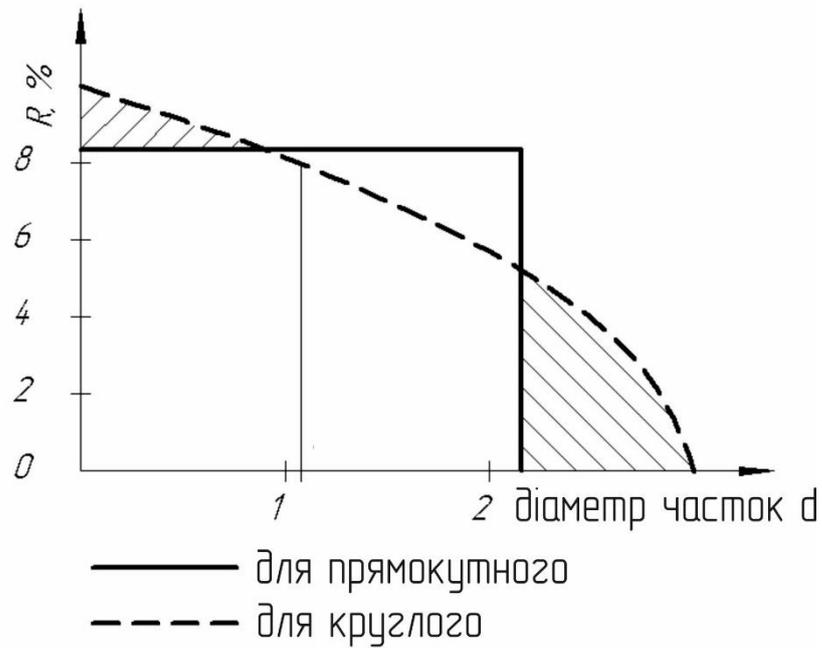


Рисунок 2.5 – Теоретичний розподіл гранулометричного складу

Використовуючи інтегральне числення, отримаємо:

$$R_i = \frac{\int_{d_{спi}^{min}}^{d_{спi}^{max}} d_{max}^{inv} dy}{\int_0^{d_{max}} d_{max}^{inv} dy}, \quad (2.24)$$

З графіка рис. 2.5 видно, що гранулометричний склад продукту, одержуваного при використанні решіт з отворами прямокутної форми, має менший вміст пилоподібної фракції та великих частинок. Це дозволяє нам стверджувати, що дерть має кращу якість.

2.4 Дослідження зміни площі поверхні корму та енергоємність

Досліджуючи вплив решета на енергоємність процесу, слід зазначити функціональний зв'язок між енерговитратами та ступенем подрібнення гото-

вого продукту. Поверхнева теорія, сформульована німецьким ученим Ріттінгер, говорить про те, що робота A_R , що витрачається на процес подрібнення, прямо пропорційна новоствореній поверхні:

$$AR = f(\Delta S), \quad (2.25)$$

де ΔS – площа новоутвореної поверхні (приріст питомий площі поверхні).

$$\Delta S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i, \quad (2.26)$$

де ΔS_i – площа поверхні частинок у i -тому класі,
 n – кількість класів.

$$\Delta S_i = 6 \cdot \frac{m_i}{\rho} \left(\frac{D_{\text{екв}} - d_{\text{ср}i}}{D_{\text{екв}} \cdot d_{\text{ср}i}} \right), \quad (2.27)$$

де $d_{\text{ср}i}$ - середній діаметр частинок в i -тому класі;

$D_{\text{екв}}$ - еквівалентний діаметр зерна.

Замінивши m_i на вираз 2.24, прийнявши припущення, описані вище, а також задавшись початковими умовами, побудуємо графік розподілу збільшення поверхні в навішуванні масою 100 г для круглого ($D = 6$ мм) і прямокутного отворів ($F = 5,36$ мм)

$$\Delta S_i = \frac{6}{\rho} \cdot \frac{\int_{d_{\text{ср}i}^{\text{min}}}^{d_{\text{ср}i}^{\text{max}}} d_{\text{max}}^{\text{inv}} dy}{\int_0^{d_{\text{max}}} d_{\text{max}}^{\text{inv}} dy} \left(\frac{D_{\text{екв}} - d_{\text{ср}i}}{D_{\text{екв}} \cdot d_{\text{ср}i}} \right). \quad (2.28)$$

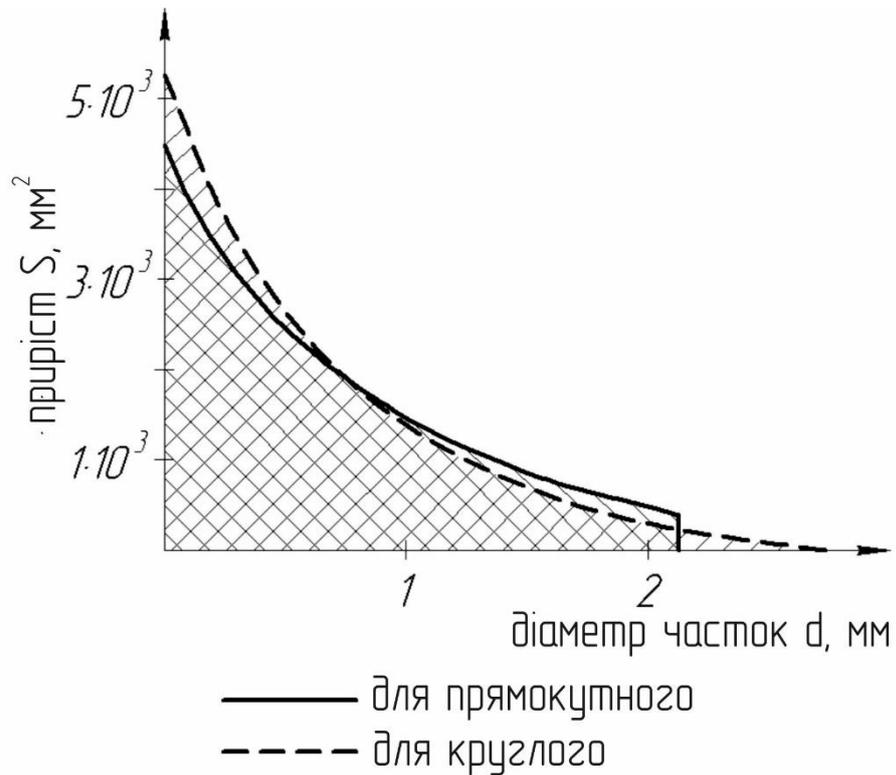


Рисунок 2.6 – Теоретичний розподіл збільшення поверхні

Використовуючи чисельний результат, отриманий за допомогою MathCad 14 також графік на малюнку 2.6, можна сказати, що сумарне збільшення поверхні для матеріалу, що має однаковий модуль помелу, отриманого при використанні решіт з круглими отворами більше, ніж з прямокутними на 11,2 %.

Питома енергоємність q запишеться як:

$$q = \frac{f(\Delta S)}{m_{\text{общ}}}, \quad (2.29)$$

З виразу випливає, що збільшення поверхні тягне за собою збільшення енерговитрат. Це означає, що питома енергоємність подрібнення на решетах з прямокутними отворами, відносно решіт з круглими, знизиться.

2.5 Вплив прямокутної форми отвору

на енергоємність транспортування

Як було зазначено раніше, для видалення продукту, а іноді й для завантаження молоткової дробарки, в силу своєї незаперечної переваги, широкого поширення набув вентилятор, що встановлюється на валу ротора дробарки. Однак таке розташування веде до перевитрати енергії, оскільки робота вентилятора у разі розраховується на максимальну продуктивність. Розглядаючи питання оптимізації питомих енерговитрат необхідно розглядати як вплив вентилятора на робочий процес молоткової дробарки, а й вплив роботи дробарки на роботу вентилятора. При подрібненні відбувається значний приріст сумарної поверхні частинок. Ступінь подрібнення λ характеризується ставленням середнього розміру шматків вихідного матеріалу до середнього розміру частинок продукту подрібнення. У свою чергу, при русі частинки в трубопроводі на всю її поверхню діятимуть сили X, Y, Z (рис. 2.7).

$$\lambda = \frac{D_{\text{екв}}}{d_{\text{ср}}}. \quad (2.30)$$

На рис. 2.7 зображено схему руху подрібненої частинки 2 у трубопроводі 1. Для визначення сил X, Y, Z , виділимо на поверхні частинки елементарну площу $d\Sigma$. Тоді під час руху частки у середовищі на майданчик будуть діяти нормальні $p d\Sigma$ та дотичні $\tau d\Sigma$ сили. Спроектувавши ці сили на осі координат та проінтегрувавши по всій поверхні тіла отримаємо.

$$X = \int_{d\Sigma} (p \cdot \cos(p, x) + \tau \cdot \cos(\tau, x)) d\Sigma, \quad (2.31)$$

$$Y = \int_{d\Sigma} (p \cdot \cos(p, y) + \tau \cdot \cos(\tau, y)) d\Sigma, \quad (2.32)$$

$$Z = \int_{d\Sigma} (p \cdot \cos(p, z) + \tau \cdot \cos(\tau, z)) d\Sigma, \quad (2.33)$$

де X – сила лобового опору;

Y – підйомна сила;

Z – бічна сила.

Як видно з виразів зі збільшенням ступеня подрібнення зростає питома поверхня частинок, отже, зростає сумарний вплив сил X , Y і Z , віднесений до всього транспортованого продукту, як наслідок зростає енергоємність пневматичного транспортування. Запропонований вище аналітичний вираз дуже складно застосувати в практичних обчисленнях в силу неоднорідності та полідисперсності матеріалу. При дослідженні знепилення виробничих приміщень отримали наступну експериментальну залежність втрат тиску у трубопроводі:

$$\Delta H = \lambda \frac{l_T}{D_T} \frac{\rho_v v_v^2}{2}, \quad (2.34)$$

де λ - коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування матеріалу,

l_T – довжина трубопроводу,

D_T – діаметр трубопроводу; ρ_v - щільність повітря,

v_v - швидкість повітря у трубопроводі.

$$\lambda = \lambda_o + \lambda_\phi + \lambda_\tau + \lambda_\epsilon, \quad (2.35)$$

де λ_o - к-т тертя повітря об стінки труби,

λ_ϕ - к-т тертя повітря об матеріал,

λ_τ – к-т тертя матеріалу об стінки труби,

λ_ϵ – к-т тертя частинок один об одну.

Величинами λ_τ і λ_ϵ автори у розрахунках нехтують.

$$\lambda_{\sigma} = \frac{4 \cdot G_M}{\pi \cdot D_T^2 \cdot v_{\sigma}} \cdot \frac{\left(1 - \frac{v_n}{v_{\sigma}}\right)^3}{\frac{v_n}{v_{\sigma}} \cdot v_{\text{вит}}}, \quad (2.36)$$

де G_M – масова витрата матеріалу;

v_n – швидкість матеріалу;

$v_{\text{вит}}$ – швидкість витання частинок матеріалу.

Аналогічну залежність отримав Х. Гутзейт під час розрахунку систем млинового пневмотранспорту. Проте автори не з'ясували, як визначити швидкість матеріалу v_n та швидкість витання частинок для полідисперсного матеріалу $v_{\text{вит}}$. З виразу 2.34 видно, що із зменшенням λ та v_B зменшуються втрати тиску у пневмотранспортній системі.

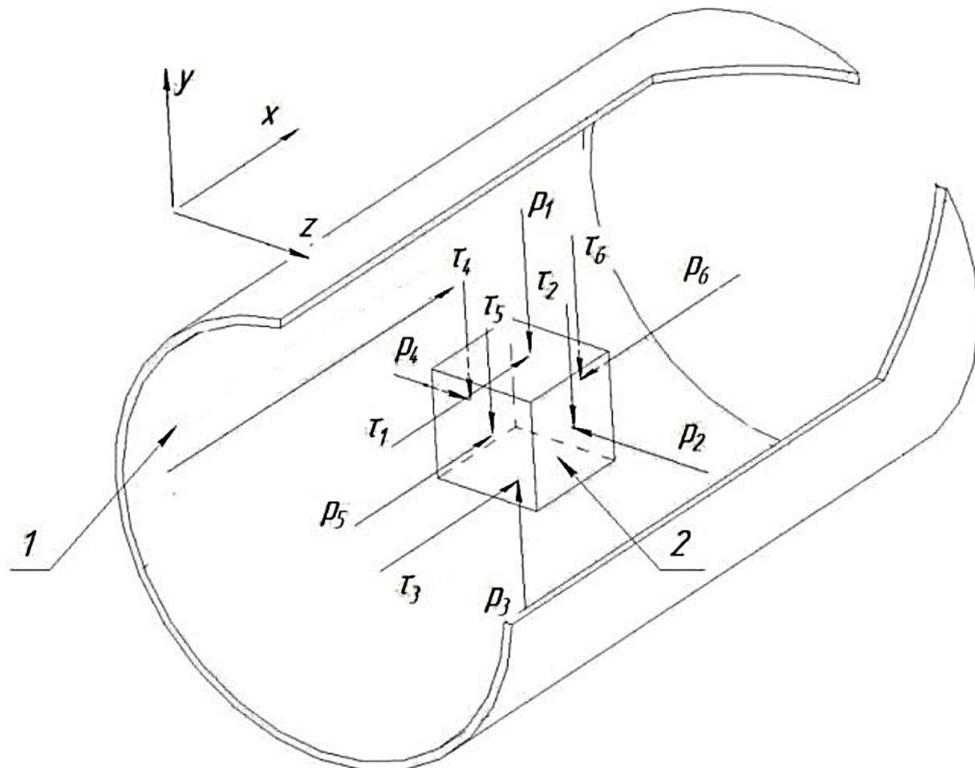


Рисунок 2.7 - Схема руху подрібненої частки у трубопроводі: 1 - стінки трубопроводу; 2 - подрібнена частка

Проте з виразу 2.36 видно, що з зменшенням $u_{\text{вит}}$ при постійному режимі роботи вентилятора зростає коефіцієнт λ_6 , що входить до λ . Це говорить про те, що дрібноподрібнені частки, мають маленьку швидкість витання, створюють великі втрати тиску в трубопроводі.

З наведеного теоретичного обґрунтування можна зробити висновок, що залежності 2.31-2.33 показують, що на кожен поверхню частинки, що рухається в трубопроводі, діють сили X , Y і Z . Зі зменшенням модуля помелу, зростає ступінь подрібнення, внаслідок чого зростає сумарна поверхня, і як наслідок збільшується сумарний вплив сил X , Y і Z , віднесений до всьому транспортованого продукту. Як видно з графіка на рис. 2.6, сумарна площа поверхні дерті, що отримується при подрібненні зерна на решетах з круглими отворами більше ніж на прямокутних.

Крім того, зі зменшенням модуля помелу частинок зменшується їх швидкість витання [145], як наслідок збільшується показник λ_6 , що збільшує втрати тиску у трубопроводі. Тому з метою зменшення енергоємності процесу пневмотранспортування необхідно із зменшенням модуля помелу частинок зменшувати швидкість повітря у трубопроводі шляхом зменшення частоти обертання вентилятора.

2.6 Опис конструкції регулятора «живого» перерізу

Як було зазначено раніше, збільшені вимоги з боку виробників кормів для тварин вимагають від машинобудівників виробництва таких молоткових дробарок, де час, що витрачається на зміну ступеня подрібнення, був би мінімальним.

Для вирішення цього завдання запропоновано використовувати регулятор «живого» перерізу (рис. 2.8), виконаний у вигляді нерухомого решета 2 і рухомого - 3, з можливістю переміщення по колу дробильної камери.

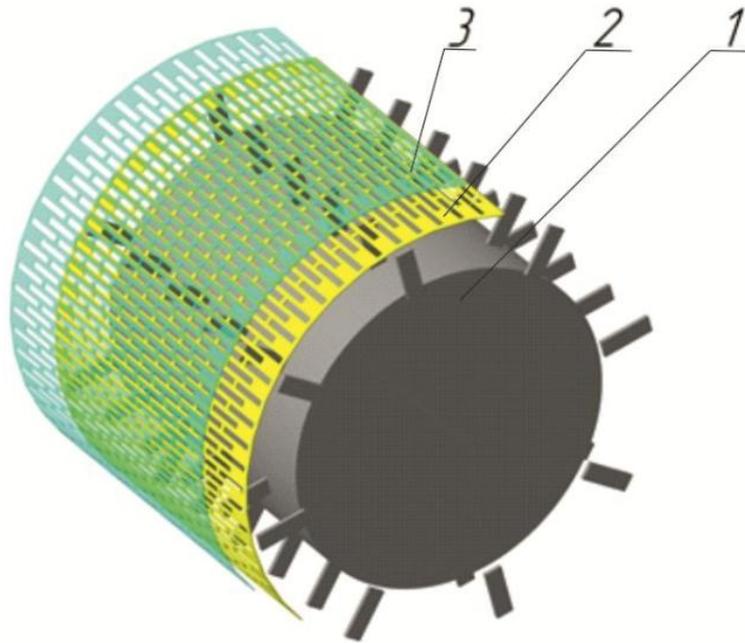


Рисунок 2.8 – Схема розташування регулятора «живого» перерізу: 1- молотковий ротор; 2 – нерухоме решето; 3 - рухоме решето

Переміщення рухомого решета 3 на потрібну відстань щодо нерухомого необхідно здійснювати навколо дробильної камери в напрямку обертання ротора (рис. 2.9). В іншому випадку відбудеться набивання матеріалу в отворі решіт, як наслідок зменшиться продуктивність і погіршиться гранулометричний склад.

Переміщення решета 3 спричинить зміну поздовжнього розміру «живого» перерізу АВ, як наслідок, зміниться середній розмір частинок одержуваного продукту. Використання запропонованого конструктивного рішення дозволить безступінчасто змінювати ступінь подрібнення безпосередньо в процесі роботи молоткової дробарки, що дозволить не зупиняти технологічну лінію. Крім того, замість комплекту решіт достатньо використовувати два решета.

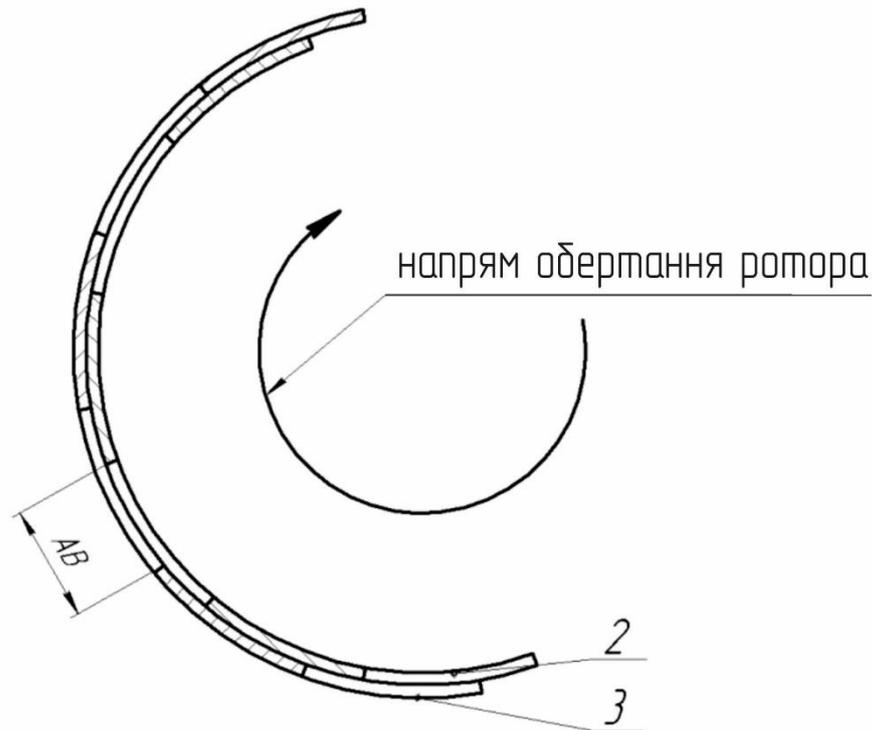


Рисунок 2.9 - Схема переміщення решета:

1 – нерухоме решето; 2 - рухоме решето

На підставі теоретичного обґрунтування можна стверджувати, що за рахунок отворів прямокутної форми одержуваний продукт матиме більш вирівняний гранулометричний склад з меншим вмістом пилоподібної фракції великих частинок, порівняно з отворами круглої форми. Очікується збільшення продуктивності та зниження енергоємності процесу подрібнення в порівнянні з серійною молотковою дробаркою.

2.7 Висновки

1. Теоретичний аналіз використання решета з прямокутною формою отвору виявив широкі можливості щодо покращення якості продукту, зменшення пилоподібної фракції, зниження вмісту цілих та неподрібнених зерен, а також зниження енергоємності процесу подрібнення.

2. З метою покращення експлуатаційних характеристик молоткової дробарки та підвищення її коефіцієнта використання запропоновано використовувати регулятор «живого» перерізу, що дозволяє при використанні двох решет безступінчасто регулювати ступінь подрібнення та отримувати продукт із заданим модулем помелу.

3. Виявлено доцільність зміни режиму роботи вентилятора дробарки в залежності від модуля помелу одержуваного продукту.

4. З метою підтвердження теоретичних висловлювань необхідно провести експериментальні дослідження.

3 Експериментальні дослідження дробарки

3.1 Випробування регулятора «живого» перерізу

З метою визначення оптимального типорозміру комірки решета нами був проведений попередній експеримент на серійно випускається молотковій дробарці КДУ-2,0, в ході якого належало з'ясувати, з яким типорозміром решіт забезпечується отримання продукту, що відповідає за гранулометричним складом вимогам та дослідженням авторів з годівлі сільськогосподарських тварин.

Було проведено заміну молотків дробильного ротора на нові. Завантаження дробарки здійснювалося самопливом із завантажувального бункера, рівень зерна у якому чистоти експерименту підтримувався на постійному рівні.

У комплекті із заводською дробаркою поставляються решета з діаметром отворів 4, 5, 6, 8, 10 мм та товщиною 3 мм, тому для проведення експерименту було виготовлено чотири комплекти регуляторів «живого» перерізу з розмірами осередків 4×30 мм, 6×35 мм, 8×40 мм, 10×45 мм та товщиною 3 мм.



Рисунок 3.1 – Стандартне решето з круглими отворами порівняно з регулятором «живого» перерізу

На рис. 3.1 представлений загальний вигляд регулятора «живого» перерізу з боку приймальної горловини (для наочності фотографії горловина була демонтована) порівняно зі стандартним решетом із круглими отворами.

Поздовжній розмір регулятора «живого» перерізу з осередком 6×35 мм, 8×40 мм та 10×45 мм мав крок зміни 1 мм, а 4×30 – 0,5 мм. Розмір комірок вибирався відповідно до конструктивної жорсткості решета, рекомендованої заводом виробником та розраховувався за допомогою комп'ютерної програми SolidWorks 2010. При цьому розмір перегородок вибирався мінімально можливим з метою забезпечення максимальної площі "живого" перерізу. У ході експерименту робили подрібнення ячменю.

Регулювальною рукояткою було виставлено подача дорівнює 0,63 кг/с. Досвід проводили рандомізовано з триразової по вторинності відповідно до

плану попереднього експерименту. За результатами дослідів був побудований графік залежності модуля помелу частинок M та коефіцієнта $K_{ж.п}$ від встановленого поздовжнього розміру «живого» перерізу для решіт з коміркою 8×40 мм (рисунок 3.2).

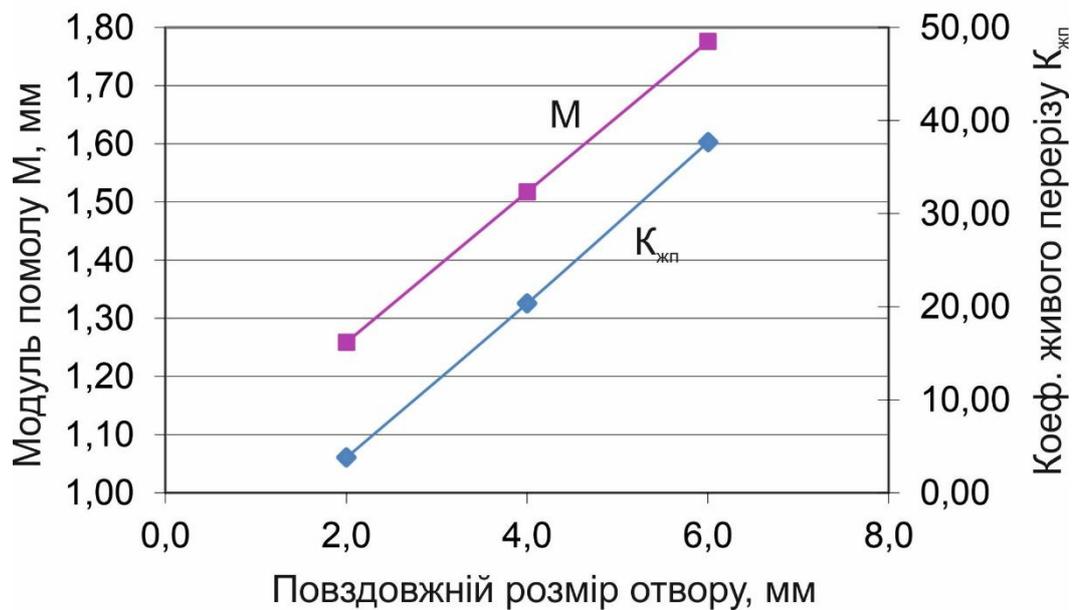


Рисунок 3.2 - Графік зміни $d_{ср}$ та $K_{ж.п.}$ від поздовжнього розміру отворів

З експериментальних даних видно, що при зміні поздовжнього розміру «живого» перерізу решіт з коміркою 4×30 мм від мінімального 1,5 мм до максимального 4 мм, коефіцієнт «живого» перерізу змінювався від 18,5 до 48,9 %, а модуль помелу від 0,94 мм до 1,32 мм. Для регулятора з коміркою 6×35 мм поздовжній розмір «живого» перерізу варіювався від 2,2 мм до 6,2 мм, коефіцієнт змінювався від 16,5 до 47,4 %, а модуль помелу від 1,1 мм до 1,58 мм. Для регулятора з коміркою 8×40 мм поздовжній розмір «живого» перерізу змінювали в інтервалі 3-8 мм, при цьому коефіцієнт змінювався в діапазоні 17,49-46,65%, а модуль помелу становив 1,2 - 1,9 мм. Для регулятора з коміркою 10×45 мм модуль помелу та коефіцієнт «живого» перерізу змінювався в діапазоні 1,4-2,3 мм та 16,6 та 45,2 % відповідно при поздовжньому розмірі «живого» перерізу від 4,2 мм до 10,2 мм.

Дерть, що отримується при використанні регулятора «живого» перерізу з типорозміром осередків 4×30 і 6×35 мм за гранулометричним складом малопридатна при годівлі сільськогосподарських птахів. У той же час дерть, отримана при постановці решіт з осередком 10×45 мм, має підвищений вміст недопродібною частинок і цілих зерен, тому її не можна використовувати при годівлі свиней, овець, коней та ВРХ. Дерть, що отримується при встановленні регулятора з осередком 8×40 мм придатна для годування всіх сільськогосподарських тварин відповідно до вимог. Тому подальші дослідження проводитимемо при встановленні цього регулятора "живого" перерізу.

3.2 Порівняння роботи регулятора

«живого» перерізу та решіт з круглими отворами

3.2.1 Якісна оцінка продукту

У ході теоретичного дослідження було з'ясовано, що дерть, отримана при використанні решіт з прямокутними отворами, має кращу якість в порівнянні з дертю, отриманою при використанні решіт з круглими отворами. Тому слід на експериментальній установці оцінити зміну якості одержуваного продукту. Для цього використовували решета з комплекту, що поставляється з діаметром отворів 4, 6 та 8 мм та регулятор «живого» перерізу з осередком 8×40 мм.

Подача матеріалу, колова швидкість молотків та частота обертання вентилятора були встановлені на нульовому рівні плану експерименту та дорівнювали 0,63 кг/с, 70 м/с та 2860 хв⁻¹ відповідно. Аналізуючи вміст пилоподібної фракції у готовому продукті (рис. 3.3), слід зазначити, що при використанні регулятора «живого» перерізу запропонованої конструкції вміст пилоподібної фракції нижче ніж при використанні решіт з круглими отворами.

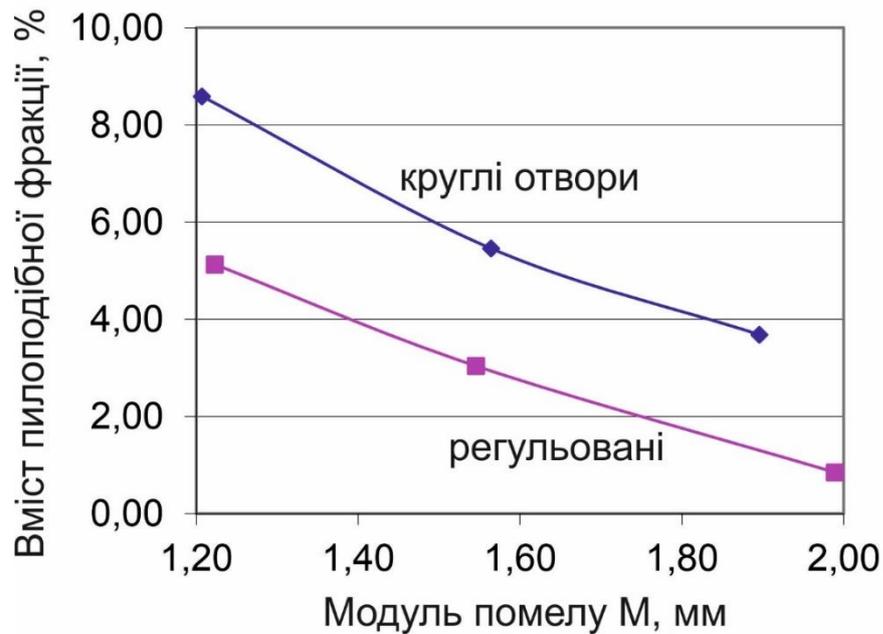


Рисунок 3.3 – Вміст пилоподібної фракції

При використанні регулятора живого перерізу з поздовжнім розміром 3 мм дерты з модулем помелу 1,22 мм мала 5,13 % пилоподібної фракції, тоді як за використання решета з круглими отворами діаметром 4 мм – 8,59 %. Аналогічні тенденції спостерігаються і при використанні решіт з діаметром отворів 6 та 8 мм. Так модуль помелу склав 1,56 і 1,90 мм, а вміст пилоподібної фракції 5,46% і 3,69% відповідно, що перевищує значення, отримані при використанні регулятора живого перерізу.

Аналогічна тенденція спостерігається і під час аналізу недоподрібнених частинок, що характеризуються залишком на ситі з діаметром отворів 3 мм (рис. 3.4). Так при використанні решіт з круглими отворами діаметром 4 мм залишок на сите з діаметром отворів 3 мм становив 1,80 %, а при постановці решіт з діаметром отворів 6 та 8 мм – 3,86 та 6,25 % відповідно при модулі помелу 1,21, 1,56 та 1,90 мм.

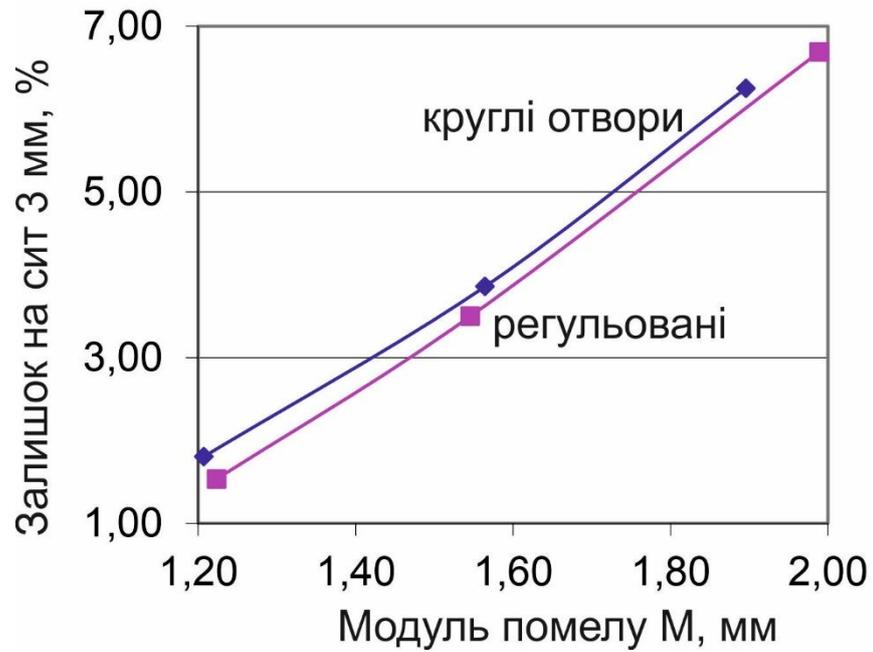


Рисунок 3.4 – Залишок на ситі з діаметром отворів 3 мм

При використанні регулятора «живого» перерізу було отримано дерть з модулями помелу 1,22, 1,55 і 1,99 мм, в якій залишок на ситі з діаметром отворів 3 мм становив 1,53, 3,50 і 6,69% відповідно.

Аналіз сумарної помольної характеристики по плюсу (рис. 3.5) свідчить, що графіки, побудовані для дерті, отриманої під час використання регулятора «живого» перерізу мають круто низхідну траєкторію порівняно з графіками, побудованими при використанні решіт з круглими отворами, що говорить про більш вирівняний гранулометричний склад.

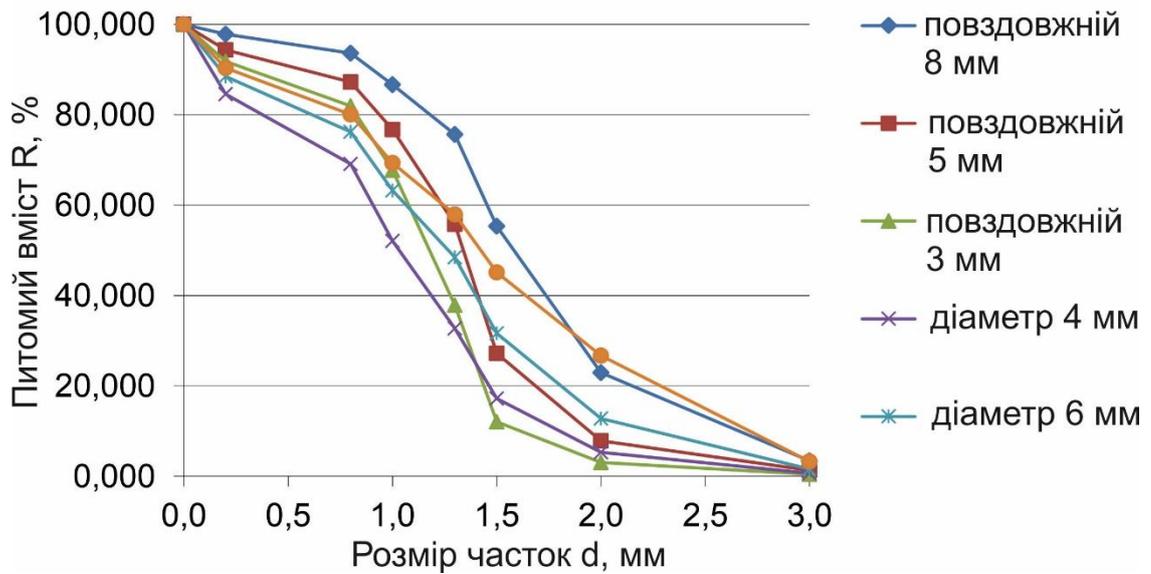


Рисунок 3.5 – Сумарна розмельна характеристика по плюсу

Однорідність продукту характеризують графіки середньозваженого квадратичного відхилення та коефіцієнта варіації. Аналізуючи залежність розкиду гранулометричного складу в готовому продукті (рис. 3.6), слід зазначити, що для дерті, отриманої при використанні решета з круглими отворами, коефіцієнт середньозваженого квадратичного відхилення вище. Так при модулі помелу 1,21, 1,56 та 1,90 мм він склав 0,78, 0,86 та 0,88, у той час як при використанні регулятора «живого» перерізу цей показник склав 0,65, 0,74 та 0,72 для модуля помелу 1,22, 1,55 та 1,99 мм відповідно.

Аналізуючи коефіцієнт варіації гранулометричного складу у готовому продукті, що показує яку частку середнього значення становить його розкид, (рис. 3.7) слід зазначити, що він склав для решіт з круглими отворами 64,6, 55,2 і 46,2 % при модулі помелу 1,21, 1,56 і 1,90 мм, що вище значень, отриманих під час використання регулятора «живого» перерізу.

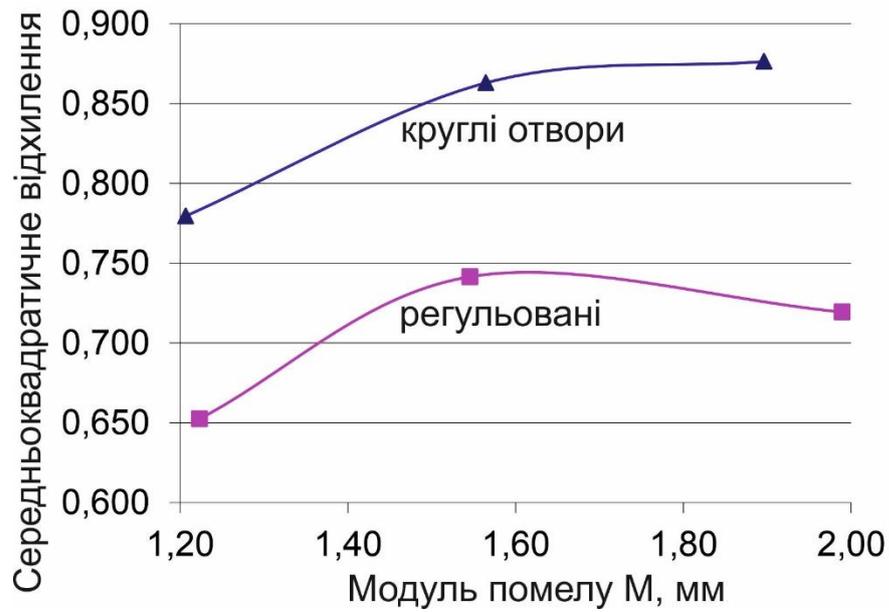


Рисунок 3.6 – Середньозважене квадратичне відхилення

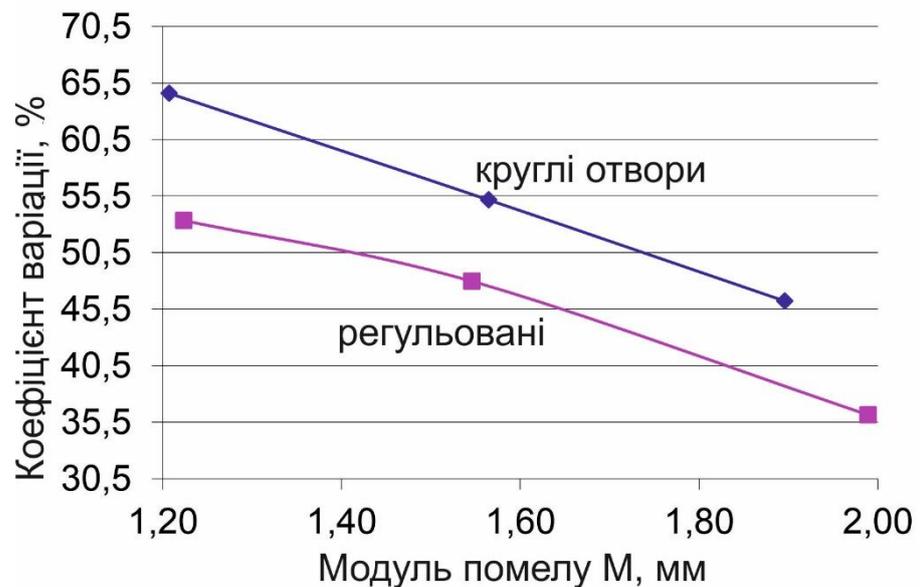


Рисунок 3.7 – Коефіцієнт варіації

Виходячи з залежностей, представлених на рис. 3.3 і 3.4, можна зробити висновок, що дерть, оцінена вмістом пилоподібної фракції та залишком на ситі з діаметром отворів 3 мм, отримана при використанні регулятора «живого» перерізу має кращу якість, ніж при використанні решета з круглими отворами.

Крім того, залежності, представлені на рисунках 3.5, 3.6 і 3.7 говорять про те, що дерть має кращу однорідність, що позитивно впливає на змішування продукту, і меншою мірою сприяє його розшарування.

3.2.2 Оцінка енергоємності процесу

У ході теоретичного дослідження було з'ясовано, що дерть, одержувана при використанні решіт з круглими отворами, має велику площу поверхні в порівнянні з подрібненням на решетах з прямокутними отворами. Тому в ході експериментальних досліджень треба було з'ясувати, скільки разів збільшиться площа поверхні корму при використанні регулятора «живого» перерізу та решіт з круглими отворами

Прийнявши припущення, що частинки корму мають кулясту форму, отримаємо розподіл збільшення поверхні (рис. 3.8).

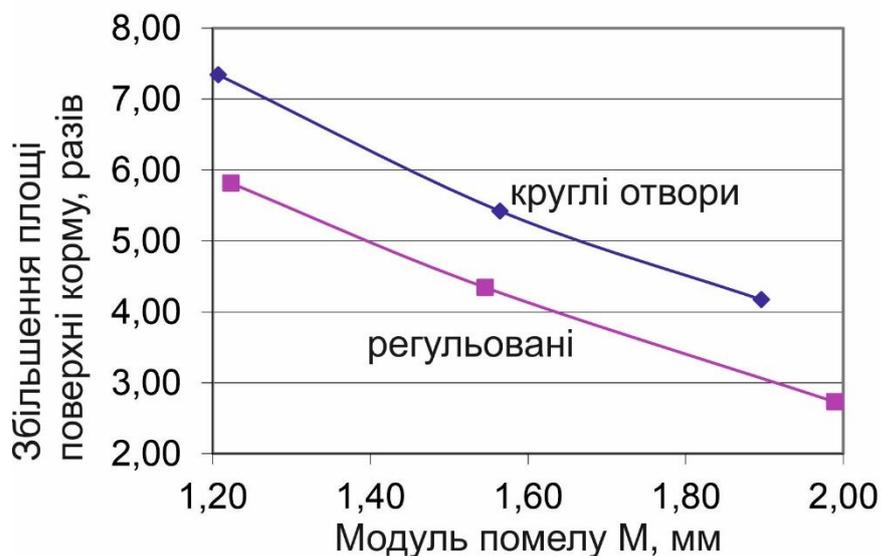


Рисунок 3.8 – Збільшення поверхні дерті

З рисунка видно, що збільшення поверхні дерті під час використання регулятора «живого» перерізу менше, ніж при використанні решіт з круглими отворами. Так при встановленому поздовжньому розмірі «живого» перерізу 3

мм модуль помелу становив 1,22 мм, а збільшення площі поверхні становило 5,82 рази. У той же час при використанні решіт з круглими отворами діаметром 4 мм модуль помелу становив 1,21 мм, а збільшення площі поверхні складало 7,34 рази. Збільшення поздовжнього розміру «живого» перерізу до 8 мм збільшує модуль помелу до 1,99 мм, а площа поверхні при цьому збільшується у 2,73 рази. При використанні решіт з круглими отворами 8 мм модуль помелу збільшується до 1,90 мм, а площа поверхні у своїй збільшується в 4,17 рази.

Аналізуючи чисельні значення, і також графіки рис. 3.8 слід дійти невтішного висновку, що дерть, одержувана під час використання регулятора «живого» перерізу, має менше збільшення поверхні.

У ході теоретичного дослідження було з'ясовано, що енергія витрачається на збільшення поверхні корму та пневмотранспортування. З метою оцінки енергоефективності слід порівняти питому енергоємність подрібнення E та пневмотранспортування P при використанні регулятора «живого» перерізу і решіт із круглими отворами.

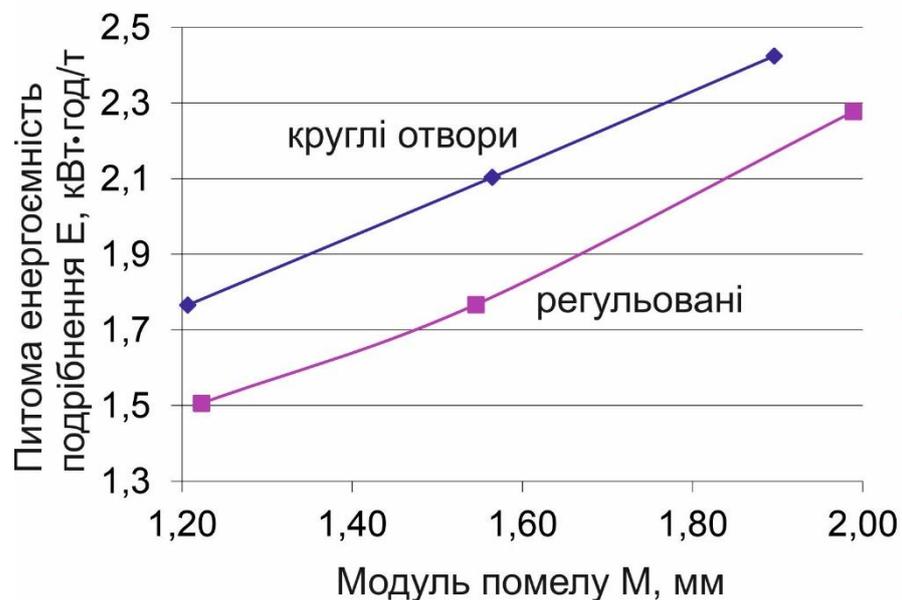


Рисунок 3.9 – Питома енергоємність подрібнення

Досліджуючи залежності, представлені на рис. 3.9, слід зазначити, що питома енергоємність подрібнення зерна E з урахуванням ступеня подрібнен-

ня при використанні решіт з круглими отворами діаметром 4, 6 і 8 мм склала 1,77, 2,10 і 2,42 кВт·год/т для дерті з модулем помелу 1,21, 1,56 та 1,90 мм відповідно. У той же час енергоємність подрібнення при використанні регулятора «живого» перерізу з поздовжнім розміром 3, 5 та 8 мм склала 1,51, 1,77 та 2,28 кВт·год/т при модулі помелу 1,22, 1,55, 1,99 мм відповідно. Аналіз графіків, представлених на рис. 3.9 показує, що енергоємність подрібнення при використанні регулятора «живого» перерізу, запропонованої конструкції значно нижча за енергоємність при використанні решіт круглими отворами.

Досліджуючи графіки рис. 3.10 було виявлено, що потужність на валу вентилятора Р при пневмотранспортуванні дерті, отриманої при використанні решіт з круглими отворами діаметром 4, 6 та 8 мм склала 7,01, 6,38 та 5,95 кВт для дерті з модулем помелу 1,21, 1,56 та 1,90 мм відповідно. У той же час потужність пневмотранспортування при використанні регулятора «живого» перерізу з поздовжнім розміром 3, 5 та 8 мм склала 6,17, 5,89 та 5,42 кВт при модулі помелу 1,22, 1,55, 1,99 мм відповідно.

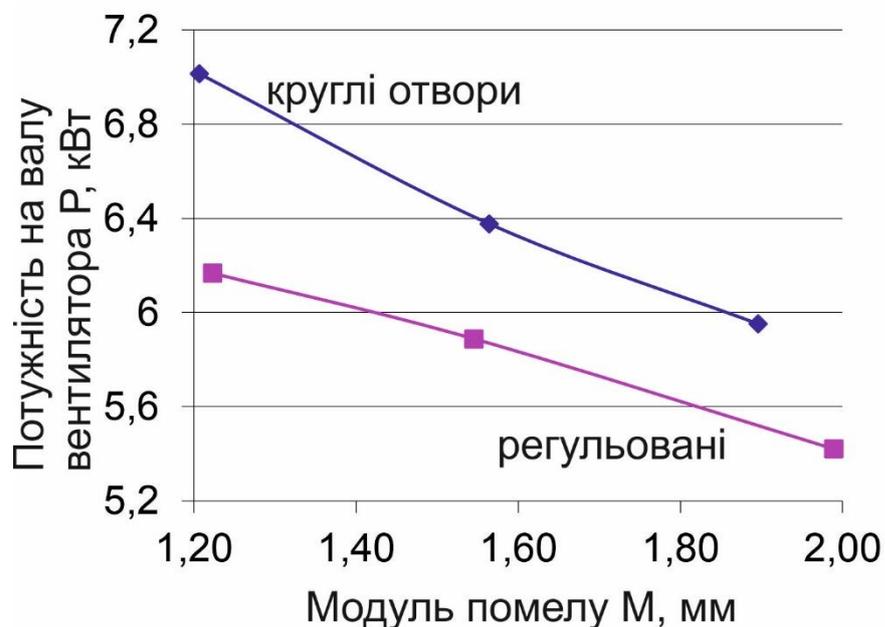


Рисунок 3.10 - Питома енергоємність пневмотранспортування

Експериментальні залежності, представлені на малюнку 3.9, підтверджують поверхневу теорію, сформульовану німецьким ученим Рітцінгером, що говорить про те, що енергія, що витрачається на подрібнення, йде на збільшення площі поверхні корму. Дерть, що характеризується модулем помелу, отримана при використанні решіт з круглими отворами має більшу поверхню, ніж дерть, отримана при використанні регулятора «живого» перерізу. Як наслідок питома енергоємність подрібнення зерна при використанні регулятора живого перерізу нижче. Крім того, внаслідок того, що нижче площа поверхні корму, знижується й енергоємність процесу пневмотранспортування. Отримані експериментальні залежності підтверджують теоретичні дослідження. У своїх дослідженнях Філін В. М. дійшов висновку, що дерти з меншим модулем помелу має меншу швидкість витання, тобто для її відведення необхідна менша швидкість повітря. Це дає нам право говорити про те, що для безперешкодного відведення матеріалу меншого модуля помелу повною мірою досить меншої частоти обертання вентилятора. Так зниження частоти обертання вентилятора з 3146 до 2546 хв^{-1} при встановленому поздовжньому розмірі «живого» перерізу 3 мм, окружної швидкості молотків 70 м/с та подачі матеріалу 0,63 кг/с знижує потужність валу вентилятора з 8,83 до 4,83 кВт.

3.3 Висновки

Результати експерименту підтверджують аналітичні залежності, а робота оптимізованої молоткової дробарки показує, що дерть з модулем помелу 1,56 мм, отримана з використанням регулятора живого перерізу має в порівнянні з решетами з круглими отворами на 45,1 % та 22,3 % менший вміст пилоподібної фракції та недоподрібнених частинок відповідно. Коефіцієнт варіації покращився на 14,0 %, а середньозважене квадратичне відхилення - на 13,9 %, що дозволяє говорити про покращення вирівняності дерті.

Теоретичні дослідження з вивчення зміни площі поверхні корму підтвердилися експериментально. Дерть з модулем помелу 1,56 мм, отримана при

використанні регулятора «живого» перерізу, має на 20,2 % меншу сумарну площу порівняно з решетом з круглою формою отворів. Ця зміна призвела до зниження питомої енергоемності подрібнення та пневмотранспортування, а загальні питомі енерговитрати E знизилися (у т. ч. за рахунок оптимізації роботи вентилятора) на 24,3 %

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 температура 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 вхолос-

ту, 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. Засипаючи в бункері сипучі (зерно, гранули) і засипають у приймальній горловині несипкі продукти звільнити за допомогою проштовхувача 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 серйо-

зні 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 ефективність застосування проектованої молоткової дробарки

Як базовий прийнятий варіант молоткової дробарки КДУ-2,0, проектного – оптимізована робота молоткової дробарки з регулятором «живого» перерізу.

Так як переваги розробленої дробарки мають технічний характер (нижча питома енергоємність) порівнювати будемо за експлуатаційними витратами, не враховуючи коефіцієнт варіації. При оцінці економічної ефективності дробарки вдосконаленої конструкції використовувалася наступна методика.

Витрати на заробітну плату визначимо з виразу

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

де n – кількість операторів, люд.;

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

t – тривалість роботи дробарки протягом доби, год.;

δ – коефіцієнт нарахування на зарплату;

D – робочих днів на рік.

Тривалість роботи дробарки протягом доби визначимо виходячи з добової потреби в комбікормі для ферми на 3000 свиней.

$$t = \frac{G_{\text{доб}}}{Q_0} = \frac{n \cdot g}{Q_0}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

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

Q_d – продуктивність дробарки, кг/год.

n – поголів'я свиней, гол;

g – добова потреба в комбікормі, 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 базового варіанту 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 для базового варі та проектної дробарки, грн.

Дані для розрахунків та їх результати зведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності дробарки

№ з.п.	Показник	КДУ-2,0	дробарка за розробкою
1	2	3	4
1.	Чисельність операторів, 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 фермі, гол.	3000	3000
5.	Добова потреба в комбікормі, кг/гол.	2,6	2,6
6.	Добова потреба в комбікормі по фермі, кг	7800	7800
7.	Продуктивність дробарки, кг/год	2000	2100
8.	Тривалість роботи машини протягом доби, год.	3,90	3,71

9.	Балансова вартість дробарки, грн.	48900	59200
1	2	3	4
10.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	9	9
12.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,3	2,3
13.	Потужність на привод, кВт	22	20
14.	Витрати на зарплату, грн.	94127,51	89645,25
15.	Амортизаційні відрахування, грн.	4890,00	5920,00
16.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	4401,00	5328,00
17.	Витрати на електроенергію, грн.	72029,10	62362,86
18.	Експлуатаційні витрати, грн.	175447,61	163256,11
19.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	12191,51
20.	Термін окупності нової дробарки, років	-	0,84

Висновки

Як свідчить економічна оцінка нової дробарки зерна оснащеної регульованими решетами при роботі на фермі з поголів'ям 3000 свиней вона має нижчі показники експлуатаційних витрат в порівнянні з аналогом завдяки нижчій питомій енергоємності, що привело до економії експлуатаційних витрат на рівні 12191,51 грн. а термін окупності зміни конструкції 0,84 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. При подрібненні кормів на молоткових дробарках решето є регулятором ступеня подрібнення, зміни якого одне решето необхідно замінити іншим. У ряді конструкцій дробарок зарубіжного виробництва використовується система автоматичної заміни решіт. Однак застосування такого конструктивного рішення обов'язково тягне у себе збільшення металоємності, габаритних розмірів, вартості виробу. Ускладняється конструкція та як наслідок знижується надійність. Аналіз наукових праць показав, що конструктивно-режимні параметри роботи молоткової дробарки вимагають подальшого вивчення та вдосконалення.

2. Теоретичний аналіз використання решета з прямокутною формою отвору виявив широкі можливості щодо покращення якості продукту, зменшення пилоподібної фракції, зниження вмісту цілих та неподрібнених зерен, а також зниження енергоємності процесу подрібнення. З метою покращення експлуатаційних характеристик молоткової дробарки та підвищення її коефіцієнта використання запропоновано використовувати регулятор «живого» перерізу, що дозволяє при використанні двох решет безступінчасто регулювати ступінь подрібнення та отримувати продукт із заданим модулем помелу. Виявлено доцільність зміни режиму роботи вентилятора дробарки в залежності від модуля помелу одержуваного продукту.

3. Результати експерименту підтверджують аналітичні залежності, а робота оптимізованої молоткової дробарки показує, що дерть з модулем помелу 1,56 мм, отримана з використанням регулятора живого перерізу має в порівнянні з решетами з круглими отворами на 45,1 % та 22,3 % менший вміст пилоподібної фракції та недоподрібнених частинок відповідно. Коефіцієнт варіації покращився на 14,0 %, а середньозважене квадратичне відхилення - на

13,9 %, що дозволяє говорити про покращення вирівняності дерті. Теоретичні дослідження з вивчення зміни площі поверхні корму підтвердилися експериментально. Дерть з модулем помелу 1,56 мм, отримана при використанні регулятора «живого» перерізу, має на 20,2 % меншу сумарну площу порівняно з решетом з круглою формою отворів. Ця зміна призвела до зниження питомої енергоємності подрібнення та пневмотранспортування, а загальні питомі енерговитрати E знизилися (у т. ч. за рахунок оптимізації роботи вентилятора) на 24,3 %.

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 оснащеної регульованими решетами при роботі на фермі з поголів'ям 3000 свиней вона має нижчі показники експлуатаційних витрат в порівнянні з аналогом завдяки нижчій питомій енергоємності, що привело до економії експлуатаційних витрат на рівні 12191,51 грн. а термін окупності зміни конструкції 0,84 роки.

Список використаної літератури

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 конструктивно-технологічних параметрів молоткової дробарки зерна

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконала: студентка 2 курсу, групи МГМз-1-20

Муравйова Ольга Олегівна

Науковий керівник: к.т.н., доцент

Гаврильченко Олександр Степанович

Дніпро 2022

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження даної роботи є підвищення ефекту подрібнення зерна за рахунок удосконалення конструктивних параметрів молоткової дробарки.

Завдання дослідження:

розробити нові конструктивно-технічні елементи молоткової дробарки;

визначити аналітичні залежності впливу прямокутної та круглої решети на якісні та енергетичні показники одержуваного продукту; підставі експериментальних даних отримати залежності конструктивно-режимних параметрів на якісні та енергетичні показники одержуваного продукту;

визначити економічну ефективність використання запропонованих конструктивних елементів.

Об'єктом дослідження є технологічний процес подрібнення зерна молотковою дробаркою, а також її основні конструктивні елементи.

Предметом дослідження є закономірності впливу основних конструктивно-режимних параметрів молоткової дробарки на ефективність подрібнення зерна.

СПОСОБИ ПОДРІБНЕННЯ

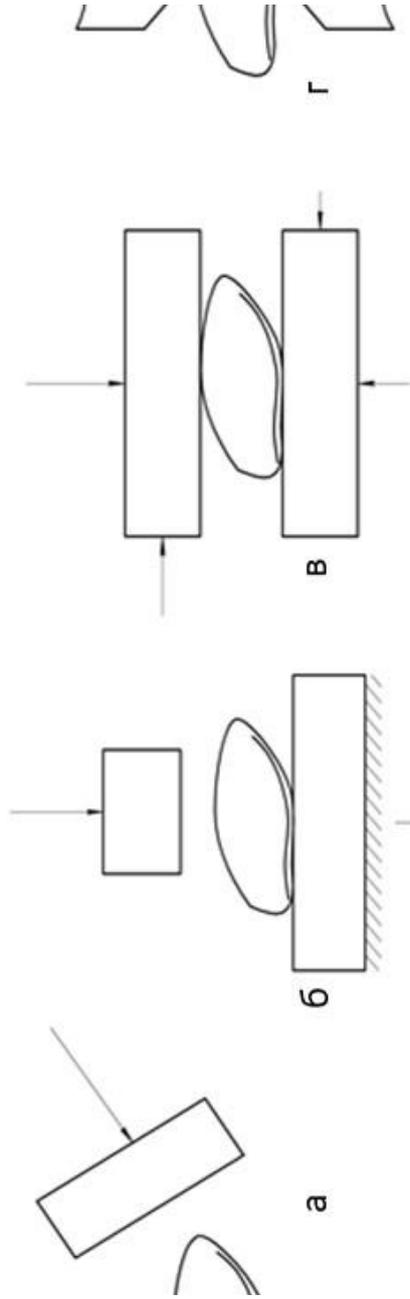


Рисунок 1 – Способи подріт зерна: а – вільним ударом; стисненим ударом; в - стирання сколювання; Д - різанням; е - стисканням

увши способи руйнування зерна, а також результати робіт з визначені мності можна зробити висновок, що вибір молоткових дробар іення зерна є обґрунтованим та актуальним. В таких машина крім руй

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ МОЛОТКОВИХ ДРОБАРОК

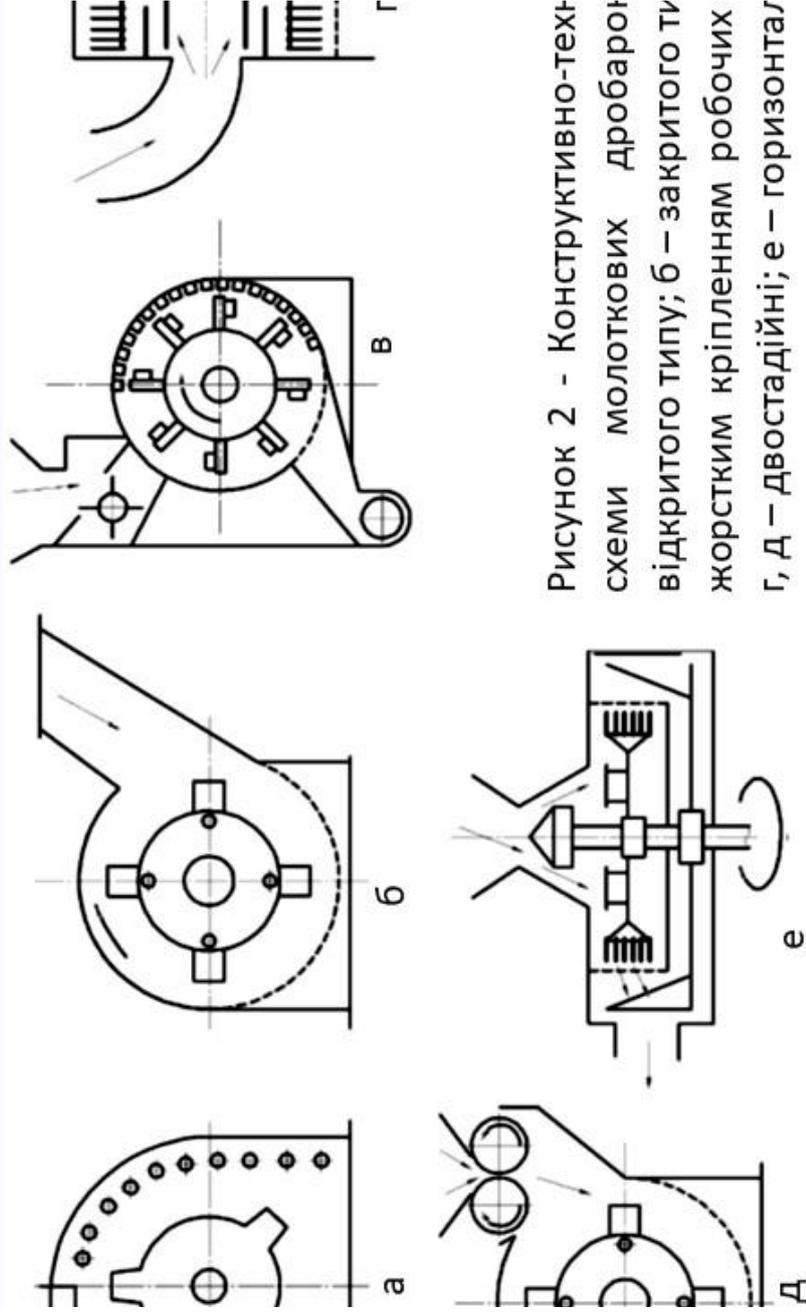
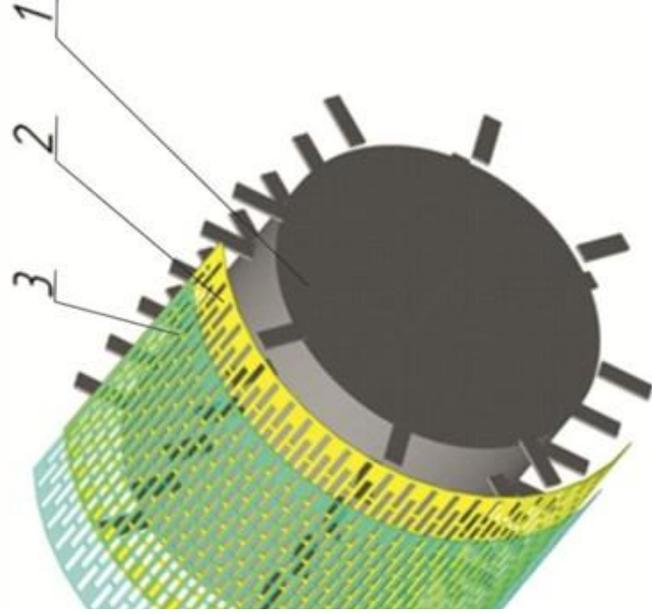


Рисунок 2 - Конструктивно-технічні схеми молоткових дробарот відкритого типу; б – закритого типу жорстким кріпленням робочих органів; г, д – двостадійні; е – горизонтальні

ого розміття машин для подрібнення та конструкційних рішень найкращих для подрібнення кормового зерна набули молоткові дробарки, які ні

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ НОВОЇ ДРОБАРКИ



7 – Схема розташування регулятора
перерізу: 1- молотковий ротор; 2 –
нерухоме решето; 3 - рухоме решето

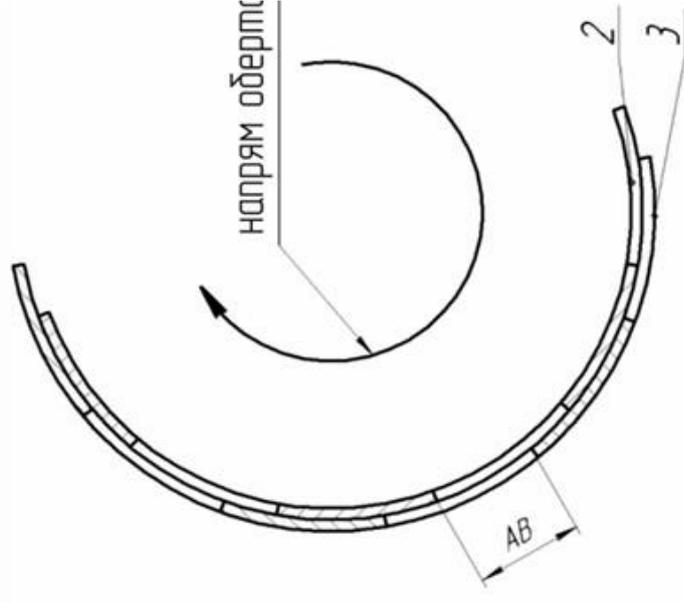


Рисунок 8 - Схема переміщення
1 – нерухоме решето; 2 - рухоме

покращення експлуатаційних характеристик молоткової дробарки та підвищення продуктивності її роботи. Для цього запропоновано використати регулятор «живого» перерізу при використанні двох решіт безступінчасто регулювати ступінь подрібнення зерна. Це забезпечить оптимальне співвідношення між частотою обертання молоткової дробарки та продуктивністю її роботи.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОБАРКИ



Рисунок 9 – Стандартне решето з
лими отворами порівняно з
лятором «живого» перерізу

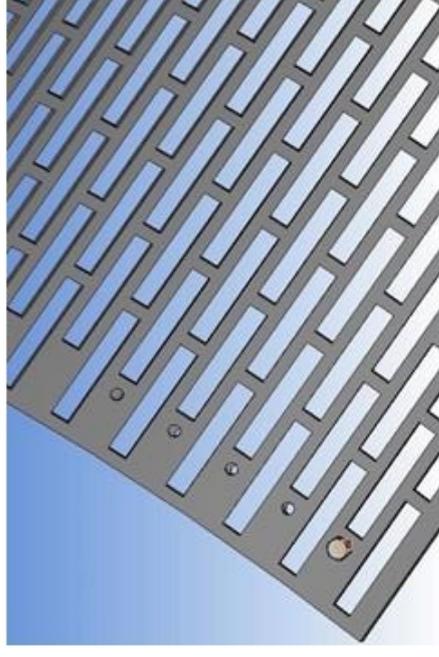


Рисунок 10 – Виставленні
заданого поздовжнього розі
«живого» перерізу

твердження та перевірки теоретичних залежностей, а також по
я процесу подрібнення зерна у молотковій дробарці було розро
ієно експериментальну установку, на якій було встановлено регулятор <

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОБАРКИ

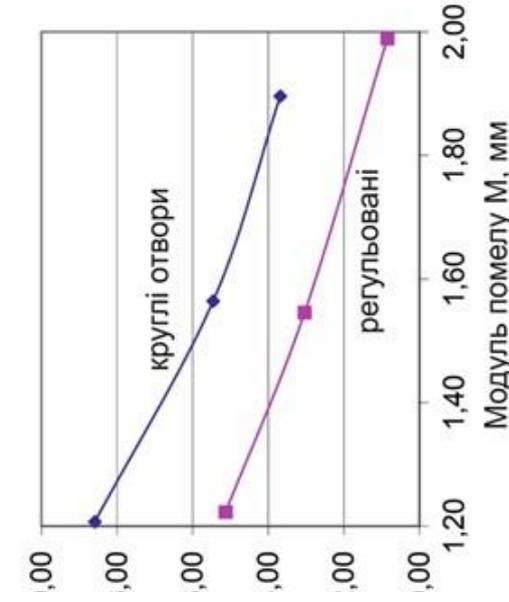


Рисунок 12 – Вміст пилоподібної фракції

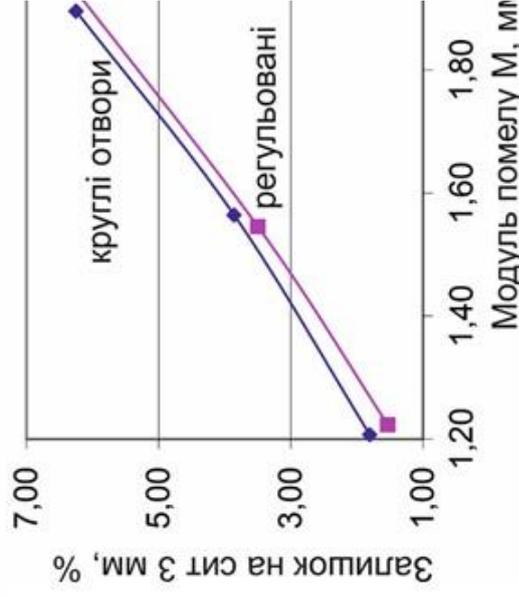
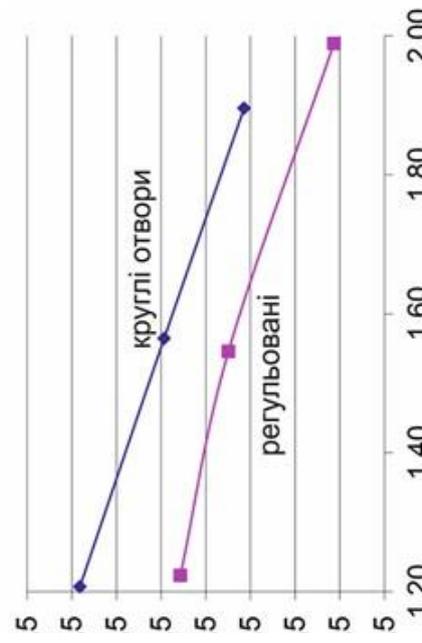


Рисунок 13 – Залишок на ситі



Результати експерименту підтвердили аналітичні залежності, а робота оптичного модуля дробарки показує, що модуль помелу 1,56 мм, отриманий використанням регулятора живого, має в порівнянні з решетами з отворами на 45,1 % та 22,3 % менше пилоподібної фракції та недопо-

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДРОБАРКИ

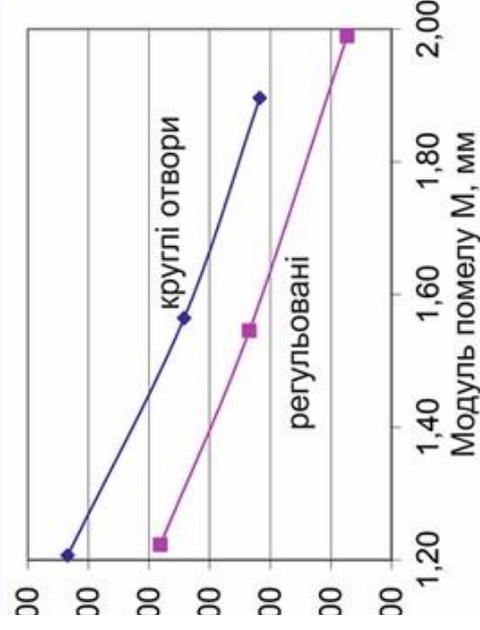


Рисунок 15 – Збільшення площі верхні корму після подрібнення

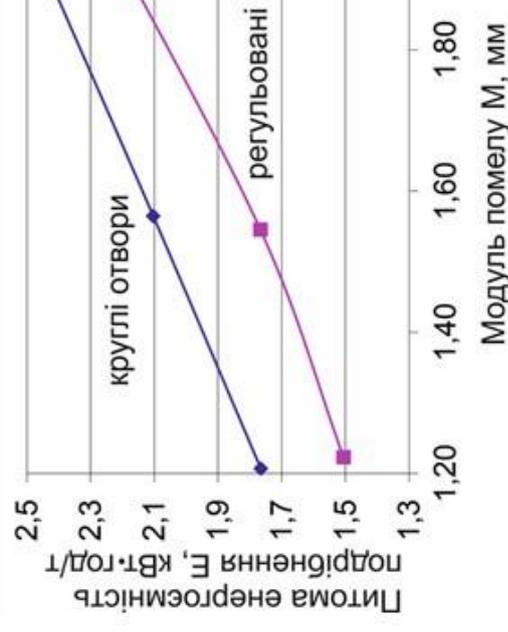


Рисунок 16 – Питома

енергоємність подрібнені

Теоретичні дослідження з вивчення зм поверхні корму підтвердилися експериментом. Держть з модулем помелу 1,56 мм, отримано використанні регулятора «живого» перероблення 20,2 % меншу сумарну площу порівняно з круглою формою отворів. Ця зміна призвела до зниження питомої енергоємності подрібнення, а загальні

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Карта контролю показників безпеки молоткового подрібнювача зернових кормів

Іменування зла машини	Контролюємий показник, нормативні вимоги безпеки	Метод оцінки прилади, обладнання	Період
камера	Надійність болтових з'єднань та зварної конструкції	Випробування	
Імпульсний кер	Спрацювання кінцевого вимикача, який блокує пуск електродвигуна при зняттю бункері	Випробування	
оча камера	Надійність кріплення пакетів протирізів	Зовнішній огляд	
рототковий ротор	Фіксація молотків.	Зовнішній огляд	
від	Зажим підшипників.	Випробування	
	Наявність захисних кожухів.	Зовнішній огляд	
	Натяг привідних пасів.	Вимірювання пружинним динамометром	
лектрокабель	Опір ізоляції (не менше 0,5 МОм).	Вимірювання, мегометр	
ктродвигун	Відсутність пилу та бруду. Надійність кріплень.	Зовнішній огляд	
	Ступень нагріву корпусу. Надійність контактів з'єднання.	Випробування	
землення	Кріплення заземлення кабелю до болта заземлення.	Випробування ключ 17x19	
	Опір повторного контура заземлення не більше 4 Ом.	Вимірювання, мегометр	

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНОЇ ДРОБАРКИ

Показник	КДУ-2,0	ДРС за ро:
кількість операторів, люд.	1	
лишня тарифна ставка, грн/год.	54,2	
кількість робочих днів на рік	365	
кількість голів свиней на фермі, гол.	3000	
кількість голів свиней на фермі, гол.	2,6	
кількість голів свиней на фермі, гол.	7800	
кількість голів свиней на фермі, гол.	2000	
кількість голів свиней на фермі, гол.	3,90	
кількість голів свиней на фермі, гол.	48900	
кількість голів свиней на фермі, гол.	10	
кількість голів свиней на фермі, гол.	9	
кількість голів свиней на фермі, гол.	2,3	
кількість голів свиней на фермі, гол.	22	
кількість голів свиней на фермі, гол.	94127,51	890
кількість голів свиней на фермі, гол.	4890,00	59
кількість голів свиней на фермі, гол.	4401,00	53
кількість голів свиней на фермі, гол.	72029,10	620
кількість голів свиней на фермі, гол.	175447,61	1630
кількість голів свиней на фермі, гол.	-	120

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ри подрібненні кормів на молоткових дробарках решето є регулятором ступеня подрібнення, зм :то необхідно замінити іншим. У ряді конструкцій дробарок зарубіжного виробництва викори :томатичної заміни решіт. Однак застосування такого конструктивного рішення обов'язково тяг з металоємності, габаритних розмірів, вартості виробу. Ускладнюється конструкція та як наслідок зі Аналіз наукових праць показав, що конструктивно-режимні параметри роботи молоткової подальшого вивчення та вдосконалення.

оретичний аналіз використання решета з прямокутною формою отвору виявив широкі можлив :я якості продукту, зменшення пилоподібної фракції, зниження вмісту цілих та неподрібнених зер енергоємності процесу подрібнення. З метою покращення експлуатаційних характеристик м :га підвищення її коефіцієнта використання запропоновано використовувати регулятор «живого» :яє при використанні двох решет безступінчасто регулювати ступінь подрібнення та отримувати і :одулем помелу. Виявлено доцільність зміни режиму роботи вентилятора дробарки в залежно в :зружаного продукту.

езультати експерименту підтверджують аналітичні залежності, а робота оптимізованої молоткової :о дерть з модулем помелу 1,56 мм, отримана з використанням регулятора живого перерізу має в п :и з круглими отворами на 45,1 % та 22,3 % менший вміст пилоподібної фракції та недоподрібнени . Коефіцієнт варіації покращився на 14,0 %, а середньозважене квадратичне відхилення - на 1 :оворити про покращення вирівняності дерті. Теоретичні дослідження з вивчення зміни площі :вердилися експериментально. Дерть з модулем помелу 1,56 мм, отримана при використанні р :терерізу, має на 20,2 % меншу сумарну площу порівняно з решетом з круглою формою отворів. :До зниження питомої енергоємності подрібнення та пневмотранспортування, а загальн :ати Е знизилася (у т. ч. за рахунок оптимізації роботи вентилятора) на 24,3 %

иведено основні визначення та поняття щодо охорони праці в сільському господарстві. Визначен :чинники виникають при подрібненні зерна, запропоновано ряд заходів для запобігання та уни :к чинників. Розроблено порядок безпечної роботи при подрібненні зерна та порядок дій при ви :ічної аварії.

к свідчить економічна оцінка нової дробарки зерна оснащеної регульованими решетами при

**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

Оргкомітет конференції**Голова:**

Андрій ПУГАЧ, декан інженерно-технологічного факультету ДДАЕУ, доктор наук з державного управління, професор

Співголови:

Ельчин АЛІЄВ – директор ІОК НААН (м. Запоріжжя), доктор технічних наук, старший дослідник

Володимир ДУДІН – завідувач кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві ДДАЕУ, кандидат технічних наук, доцент

Члени оргкомітету:

Віталій ДИРДА - завідувач кафедри надійності і ремонту машин ДДАЕУ, доктор технічних наук, професор, Лауреат державної премії України, Заслужений діяч науки і техніки

Юрій ЧУРСІНОВ - завідувач кафедри технології зберігання та переробки сільськогосподарської продукції ДДАЕУ, доктор технічних наук, професор

Дмитро МІЛЬКО – професор кафедри машиновикористання в землеробстві ТДАУ ім. Д. Моторного (м. Мелітополь), доктор технічних наук, професор

Олексій КАЗАЧЕНКО - завідувач кафедри сільськогосподарських машин ДБУ (м. Харків), доктор технічних наук, професор

Олексій ДЕРКАЧ завідувач кафедри експлуатації машинно-тракторного парку ДДАЕУ, кандидат технічних наук, доцент

Геннадій ТЕСЛЮК - завідувач кафедри тракторів і сільськогосподарських машин ДДАЕУ, кандидат технічних наук, доцент

Роман МАЛЄГІН – голова ради молодих вчених, асистент кафедри механізації виробничих процесів у тваринництві ДДАЕУ

УДК 631:62

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ПОДРІБНЮВАЧА ЗЕРНОВИХ КОРМІВ**

Муравйова О.О.

*здобувач вищої освіти СВО Магістр,
ОПП Агроінженерія, ІТФ ДДАЕУ*

*Науковий керівник – Гаврильченко О.С.,
кандидат технічних наук, доцент*

З метою визначення оптимального типорозміру комірки решета нами був проведений попередній експеримент на молотковій дробарці КДУ-2,0, в ході якого належало з'ясувати, з яким типорозміром решіт забезпечується отримання продукту, що відповідає за гранулометричним складом вимогам та дослідженням авторів з годівлі сільськогосподарських тварин.

Було проведено заміну молотків дробильного ротора на нові. Завантаження дробарки здійснювалося самопливом із завантажувального бункера, рівень зерна у якому чистоти експерименту підтримувався на постійному рівні.

У комплекті із заводською дробаркою поставляються решета з діаметром отворів 4, 5, 6, 8, 10 мм та товщиною 3 мм, тому для проведення експерименту було виготовлено чотири комплекти регуляторів «живого» перерізу з розмірами осередків 4×30 мм, 6×35 мм, 8×40 мм, 10×45 мм та товщиною 3 мм.

На рис. 1 представлений загальний вигляд регулятора «живого» перерізу з боку приймальної горловини (для наочності фотографії горловина була демонтована) порівняно зі стандартним решетом із круглими отворами.

Поздовжній розмір регулятора «живого» перерізу з осередком 6×35 мм, 8×40 мм та 10×45 мм мав крок зміни 1 мм, а 4×30 – 0,5 мм. Розмір комірок

вибирався відповідно до конструктивної жорсткості решета, рекомендованої заводом виробником та розраховувався за допомогою комп'ютерної програми Solid Works 2010. При цьому розмір перегородок вибирався мінімально можливим з метою забезпечення максимальної площі "живого" перерізу. У ході експерименту робили подрібнення ячменю.



Рисунок 1 – Стандартне решето з круглими отворами порівняно з регулятором «живого» перерізу

Регулювальною рукояткою було виставлено подача дорівнює 0,63 кг/с. Досвід проводили рандомізовано з триразової по вторинністю відповідно до плану попереднього експерименту. За результатами дослідів був побудований графік залежності модуля помелу частинок M та коефіцієнта $K_{ж.п}$ від встановленого поздовжнього розміру «живого» перерізу для решіт з коміркою 8×40 мм (рисунок 3.2).

З експериментальних даних видно, що при зміні поздовжнього розміру «живого» перерізу решіт з коміркою 4×30 мм від мінімального 1,5 мм до максимального 4 мм, коефіцієнт «живого» перерізу змінювався від 18,5 до 48,9 %, а модуль помелу від 0,94 мм до 1,32 мм. Для регулятора з коміркою 6×35 мм поздовжній розмір «живого» перерізу варіювався від 2,2 мм до 6,2 мм, коефіцієнт змінювався від 16,5 до 47,4 %, а модуль помелу від 1,1 мм до 1,58 мм. Для регулятора з коміркою 8×40 мм поздовжній розмір «живого» перерізу змінювали в інтервалі 3-8 мм, при цьому коефіцієнт змінювався в діапазоні 17,49-46,65%, а модуль помелу становив 1,2 - 1,9 мм. Для регулятора з

коміркою 10×45 мм модуль помелу та коефіцієнт «живого» перерізу змінювався в діапазоні 1,4-2,3 мм та 16,6 та 45,2 % відповідно при поздовжньому розмірі «живого» перерізу від 4,2 мм до 10,2 мм.

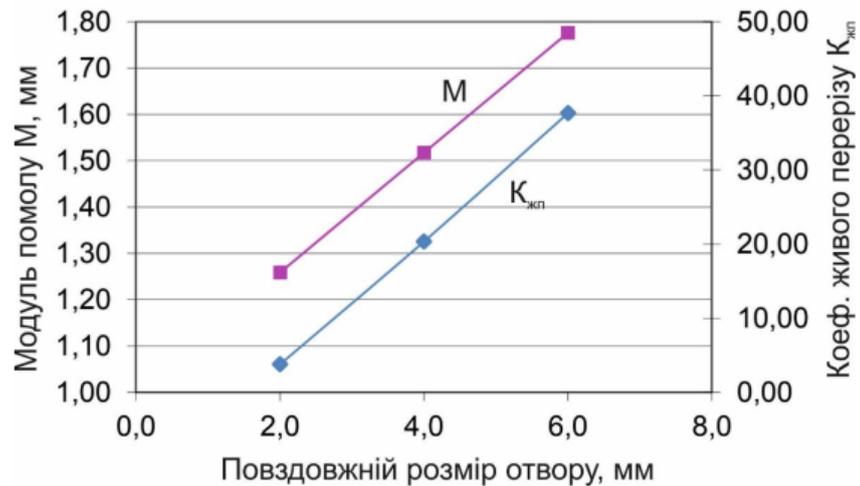


Рисунок 3.2 - Графік зміни $d_{ср}$ та $K_{ж.п.}$ від поздовжнього розміру отворів

Дерть, що отримується при використанні регулятора «живого» перерізу з типорозміром осередків 4×30 і 6×35 мм за гранулометричним складом малопридатна при годівлі сільськогосподарських птахів. У той же час дерть, отримана при постановці решіт з осередком 10×45 мм, має підвищений вміст недоподрібнених частинок і цілих зерен, тому її не можна використовувати при годівлі свиней, овець, коней та ВРХ. Дерть, що отримується при встановленні регулятора з осередком 8×40 мм придатна для годування всіх сільськогосподарських тварин відповідно до вимог.

Список використаних джерел:

1. Кукта Г. М. Удосконалення експлуатації машин і обладнання тваринницьких ферм і комплексів /За ред. Г.М Кукта. – К: Урожай, 1989. – 224 с.

