

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 конструктивних параметрів

подрібнювача фуражного зерна

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

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Салогуб Богдан Русланович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2021

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

МВПТ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Салогуб Богдан Русланович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивних параметрів подрібнювача фуражного зерна

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« ____ » _____ 2021 року № _____

2. Строк подання студентом роботи 07.12.2021 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання, мета і задачі досліджень. 2. Теоретичні дослідження молоткового подрібнювача. 3. Лабораторні дослідження процесу подрібнення зерна. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічне обґрунтування удосконаленого подрібнювача. Загальні висновки. Бібліографічний список

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	Дудін В.Ю., доцент		
2	Дудін В.Ю., доцент		
3	Дудін В.Ю., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 10.10.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Салогуб Б.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Салогуб Б.Р. Обґрунтування конструктивних параметрів подрібнювача фуражного зерна /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2021.

В роботі наведено огляд і аналіз подрібнювачів фуражного зерна і їх робочих органів, а також стан досліджень процесу подрібнення. У другому розділі описана конструктивно-технологічна схема нового подрібнювача фуражного зерна з комбінованими робочими органами, виявлено вплив фізико-механічних властивостей продукту і конструктивно-режимних і технологічних параметрів подрібнювача на питомі витрати енергії процесу подрібнення зерна.

Третій розділ присвячено розробці програми та методики експериментальних досліджень та аналізу їх результатів. Проведено дослідження розробленої конструкції з точки зору охорони праці. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: фуражне зерно, подрібнення, деки, молоток, питома енергоємність.

Класифікація робочих органів подрібнювачів зерна /Салогуб Б.Р. // Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр. наук.-практ. студ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 60-62 с.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання, мета і задачі досліджень	9
1.1 Сучасні способи та обладнання для подрібнення фуражного зерна	9
1.2 Класифікація робочих органів подрібнювачів фуражного зерна	14
1.3 Огляд досліджень подрібнювачів фуражного зерна	17
1.4 Висновки	20
2 Теоретичні дослідження молоткового подрібнювача	22
2.1 Обґрунтування геометрії робочих органів подрібнювача	22
2.2 Витрати енергії на тертя і створення повітряного потоку	32
2.3 Висновки	42
3 Лабораторні дослідження процесу подрібнення зерна	43
3.1 Програма та методика лабораторних досліджень	43
3.2 Результати лабораторних досліджень та їх аналіз	48
3.3 Висновки	55
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	56
4.1 Загальні визначення та поняття	56
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	57
4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів	59
4.4 Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна	61

4.5	Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	63
4.6	Висновки до розділу	66
5	Економічне обґрунтування удосконаленого подрібнювача зерна	65
5.1	Вихідні дані	65
5.2	Визначення питомих експлуатаційних витрат	65
5.3	Визначення питомих приведених витрат	70
5.4	Висновки до розділу	71
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	74
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

З метою підвищення конкурентоспроможності продукції сільського господарства велика увага приділяється зниженню енергоємності та ресурсомісткості застосовуваних технологій та обладнання. На приготування комбікормів припадає до 30 % витрат у тваринництві, причому найбільш енергоємним є дроблення зерна. У зв'язку з цим дослідження, моделювання та обґрунтування параметрів процесу подрібнення фуражного зерна з метою зниження енергоємності та підвищення якості є актуальним завданням.

Дослідження та практика показує, що подрібнення зерна є енергоємним процесом. Енергетично ефективним обладнанням є вальцеві плющілки. Однак вони не здатні забезпечити дрібне подрібнення, молоткові дробарки забезпечують дрібне подрібнення, але мають високу енергоємність.

В комбікормовій промисловості і господарствах основною подрібнювальною машиною є молоткова дробарка. Вона проста за будовою і не пред'являє високі вимоги до експлуатації, але при подрібненні в ній компонентів комбікорму отримують продукт, в якому є недоподрібнені частки і значний вміст пилоподібної фракції. Сутність проблеми полягає в тому, що устаткування не в повній мірі задовольняє зростим сучасним вимогам до енергоефективності та якості готової продукції, одержуваної в процесі подрібнення.

У технології приготування кормів найпоширенішим та важливим процесом є подрібнення, зумовлене вимогами фізіології годівлі тварин та птахів. Для подрібнення зернової сировини застосовують різні за конструктивним виконанням молоткові дробарки. При тонкому подрібненні ці подрібнювачі дають до 30% пилоподібної фракції, а при грубому - до 20% не подрібнених зерен. Переподрібнення зернового матеріалу призводить до додаткових втрат енергії, при цьому подрібнювачі споживають від 10 до 15 кВт-год одну тонну подрібненого продукту.

У зв'язку з цим, актуальним є удосконалення процесу роботи молоткового подрібнювача, який дозволяє отримати якісний, більш однорідний склад

готового кормового продукту, при значному зниженні енерговитрат процесу подрібнення.

Мета і завдання дослідження. Метою дипломної роботи є підвищення ефективності процесу роботи молоткового подрібнювача з кільцевими рифленими деками за рахунок обґрунтування і оптимізації конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів дробильної камери.

Відповідно до мети поставлено такі завдання наукових досліджень:

- провести аналіз способів та засобів подрібнення фуражного зерна та визначити напрямки подальших досліджень;
- теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочих органів молоткового подрібнювача, їх взаємодію подрібнюваним матеріалом;
- експериментально дослідити вплив конструктивно-технологічних параметрів молоткового подрібнювача на показники процесу подрібнення;
 - провести обстеження розробленого подрібнювача з точки зору охорони праці;
 - провести техніко-економічне обґрунтування пропонуваного рішення.

Об'єкт дослідження - процес подрібнення зерна молотковим подрібнювачем і конструктивні елементи робочої камери.

Предмет дослідження - закономірності впливу конструктивно-технологічних параметрів молоткового подрібнювача на ефективність процесу подрібнення зерна.

Методологічна, теоретична та експериментальна база досліджень. Теоретична частина досліджень виконана з використанням закономірностей і методів теоретичної механіки, опору матеріалів та математичного аналізу. Експериментальні дослідження прове-

дені з використанням теорії планування багатofакторного експерименту. Результати оброблялися з допомогою методів математичної статистики і пакета прикладних програм.

1 Стан питання, мета і задачі досліджень

1.1 Сучасні способи та обладнання для подрібнення фуражного зерна

Концентровані корми – це «зерно і насіння фуражних і продовольчих культур та продукти їхньої переробки (висівки, макуха, шрот), а також сухі відходи бродильного, крохмального, цукрового виробництв, м'ясо-молочної і рибної промисловості» [7].

В сучасному тваринництві найбільш використовуваним видом концентрованих кормів є фуражне зерно таких культур як пшениця, ячмінь та кукурудза. Що стосується процесу подрібнення зерна, то на сьогодні найбільшого поширення отримали **молоткові подрібнювачі (дробарки)**, в яких реалізовано принцип подрібнення вільним ударом (рис. 1.1).

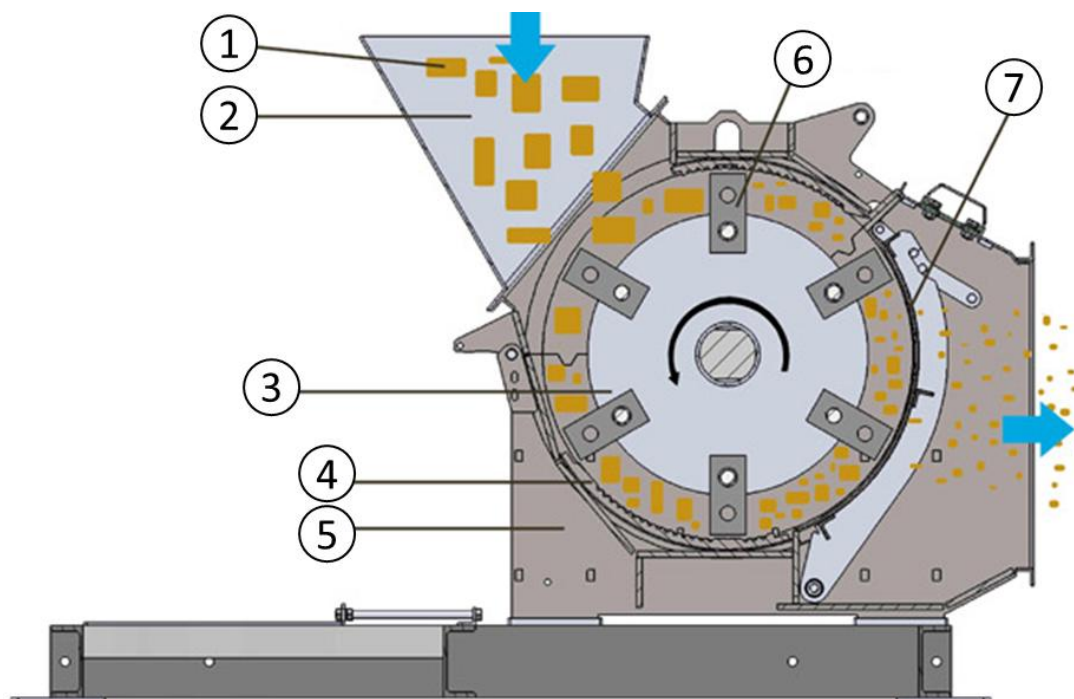


Рисунок 1.1 – Схема молоткової дробарки: 1 – зерно; 2 – приймальна горловина; 3 – ротор; 4 – дека; 5 – корпус; 6 – шарнірно підвішений молоток; 7 – решето (класифікатор)

Молоткові дробарки відрізняються за конструктивними особливостями типу та напрямку подачі зерна та відведення готового продукту. Найпростіша молоткова дробарка має гравітаційну подачу зерна в камеру подрібнення та гравітаційне ж розвантаження (рис. 1.2). Як правило це міні-дробарки продуктивністю до 0,3 т/год які використовують в приватному секторі або на мініфермах.

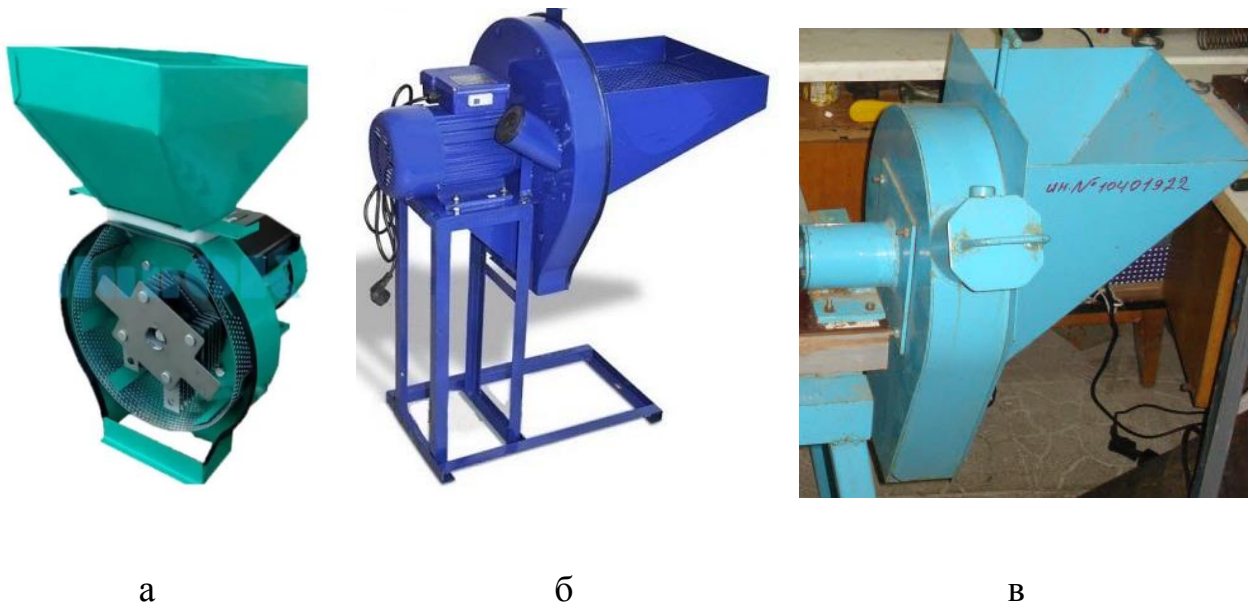


Рисунок 1.2 – Молоткові міні-дробарки з верхньою (а) центральною (б) та нижньою (в) гравітаційною подачею

Молоткові дробарки більшої продуктивності (до 3-5 т/год) потребують примусового завантаження та розвантаження. На сьогодні великого поширення в комбікормових установках та агрегатах набули молоткові дробарки з пневмотранспортуванням зерна та отриманого продукту (рис. 1.3).

Зерно, за допомогою ежектора, всмоктується повітряним потоком, який створює вентилятор дробарки і по гнучкому рукаву (до 12 м) подається до сепаратора, в якому встановлено магніт (вловлює і відокремлює металомангітні домішки), для відділення важких неметалевих домішок дробарка може обладуватись диском з отворами у верхній частині – жалюзі. Доочищене зерно, потрапляючи в робочу камеру дробарки, подрібнюється ударною дією молотків, шарнірно встановлених на роторі, відкидається до решета, поки гранулометричний склад часток не виявиться меншим, ніж діаметр отворів, і їх не викине, під дією повітряного потоку вентилятора, в корпус дробарки. Далі подрібнений продукт потрапляє в камеру вентилятора і повітряним потоком, транспортується через вивантажний патрубок і гнучким напірним шлангом подається

до місця складування або подальшої обробки. Ступінь подрібнення встановлюють зміною решета.

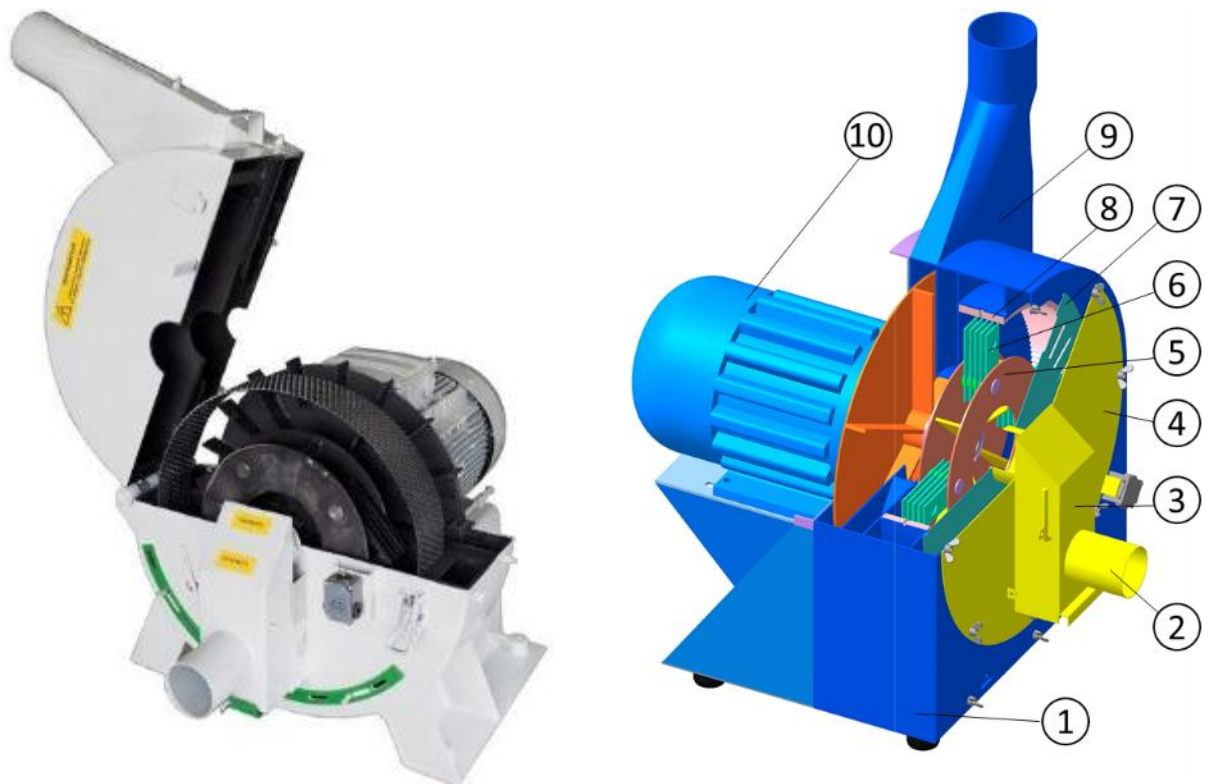


Рисунок 1.3 – Молоткова дробарка для зерна з пневмозавантаженням:

1 – станина; 2 – всмоктуючий патрубок; 3 – сепаратор дробарки; 4 – передня кришка; 5 – ротор; 6 – молоток; 7 – жалюзі; 8 – решето; 9 – вивантажний патрубок; 10 – електродвигун

Молоткові подрібнювачі відрізняються простотою конструкції та високою надійністю. До недоліків цих машин слід віднести високу енергоємність та низьку однорідність гранулометричного складу отриманого продукту.

Ще одна конструкція подрібнювачів це **дискові подрібнювачі** зерна (рис. 1.4), які забезпечують подрібнення шляхом сколювання та роздавлювання.

Дискові подрібнювачі виконують з вертикальним, похилим або горизонтальним розташуванням дисків, один з яких обертається, а завдяки спеціальній формі дисків зазор між ними від центру зменшується. Подачу зерна здійснюють через центр нерухомого диска де воно підхоплюється лопатями обертового диска і спрямовується у від центра обертання до периферії. В міждисковому просторі зерно розколюється та переминається між рифленням дисків і виводиться за межі камери подрібнення. Ступінь подрібнення встановлюють зміною зазору між дисками.

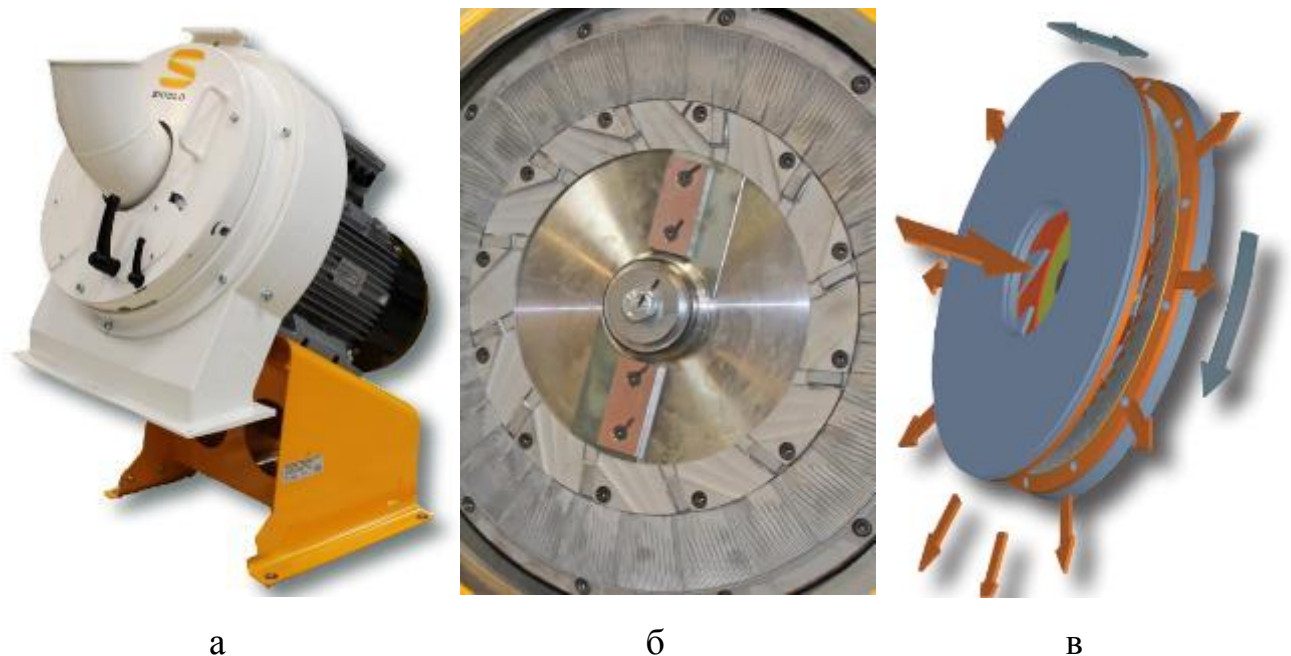


Рисунок 1.4 – Дисковий подрібнювач зерна SKIOLD SK2500 (а),
обертовий диск (б) та схема роботи (в)

Робочі накладки на дисках виконано з інструментальних сплавів, наприклад у SK2500 на основі карбіду вольфраму та кобальту що дозволяє забезпечити роботу дискового подрібнювача без заміни накладок протягом 10 000 т зерна.

Поряд з промисловими зразками дискових подрібнювачів знайшли застосування і малогабаритні (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Малогабаритний дисковий подрібнювач зерна

Дискові подрібнювачі в порівнянні з молотковими дробарками мають вищу ступінь однорідності подрібнення (менша кількість борошноподібної фракції) та нижчу питому енергоємність – 4-5 кВт·год/т, при 10-12 кВт·год/т для молоткових. Основний технологічний недолік – неможливість подрібнення кускових компонентів, наприклад макухи.

В наслідку проведеного огляду можна сформулювати головні вимоги до дробарки кормового зерна: рівномірність гранулометричного складу подрібненого матеріалу, можливість регулювання ступеня подрібнення матеріалу,

відповідність подрібненого зерна зоотехнічним вимогам, низька енергоємність процесу, простота конструкції.

1.2 Класифікація робочих органів подрібнювачів фуражного зерна

Відсутність класифікаційних підходів до оцінки великої різноманітності конструкцій робочих органів дробарок фуражного зерна ускладнює вибір напрямків їх вдосконалення відповідно до сучасних вимог до техніки нового покоління.

Технологічний результат подрібнення залежить від конструктивного виконання і кінематичних режимів робочих елементів, їх взаємодії з матеріалом, організації руху повітряно-продуктового потоку. За участі в технологічному процесі робочі органи дробарок можна розділити на активні (рис. 1.6) і пасивні (рис. 1.7).

До активних (ударних) слід віднести такі елементи робочої камери, за рахунок яких відбувається підведення енергії до матеріалу (удар), що подрібнюють. Ця енергія витрачається на руйнування частинки і на надання їй швидкості. Відскакуючи від активного робочого органу, частка прагне покинути зону його дії і в результаті зустрічає на своєму шляху пасивний (нерухомий) робочий орган - решето, деку, вихрові камери, протирізу, колосники.

За способом кріплення активні робочі органи поділяють на дві категорії: жорстко-закріплені і шарнірно підвішені на роторі ударні елементи (молотки, ножі, біла, штифти). У практиці для подрібнення зерна використовуються різні поєднання ознак пасивних робочих органів (протирізу, деку, вихрові камери, решето, колосники).

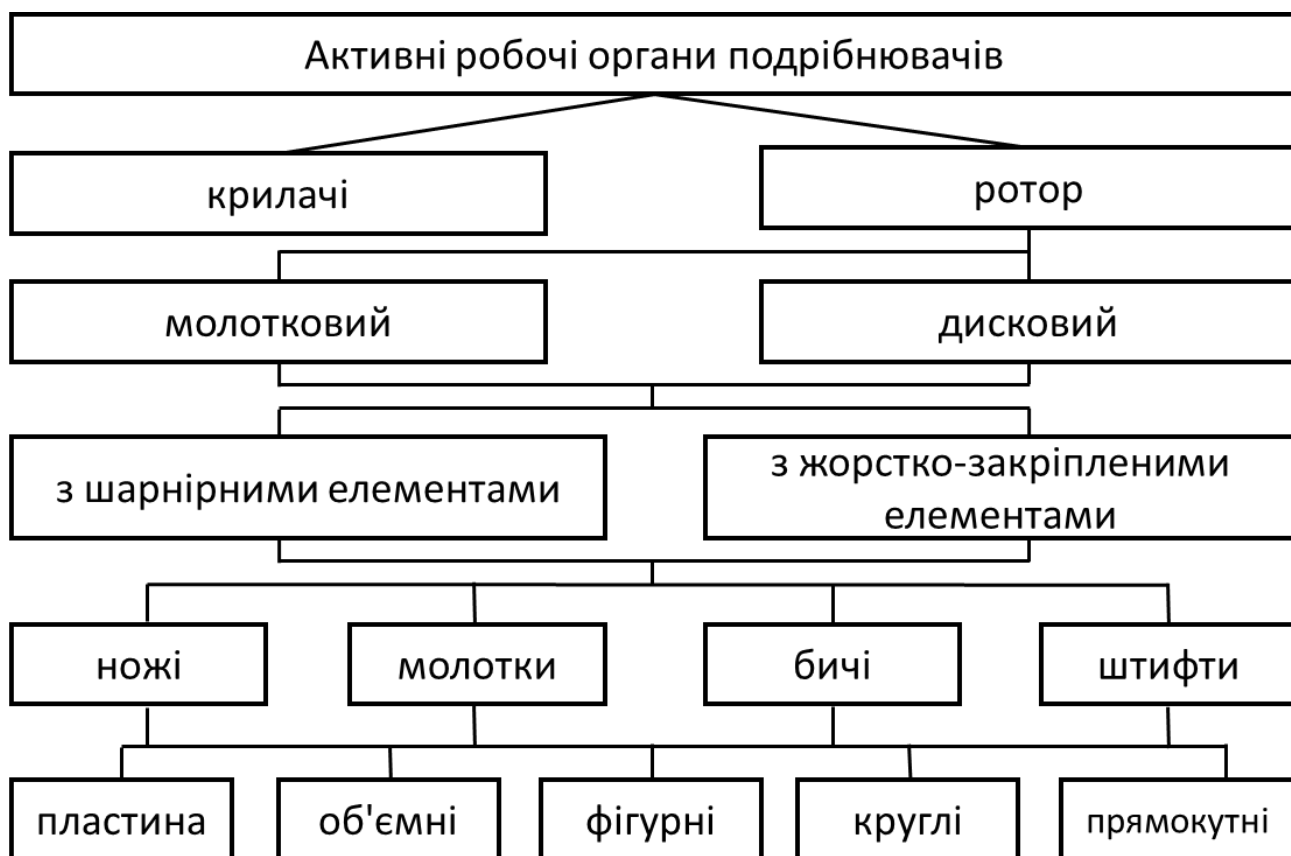


Рисунок 1.6 - Класифікація активних робочих органів подрібнювачів

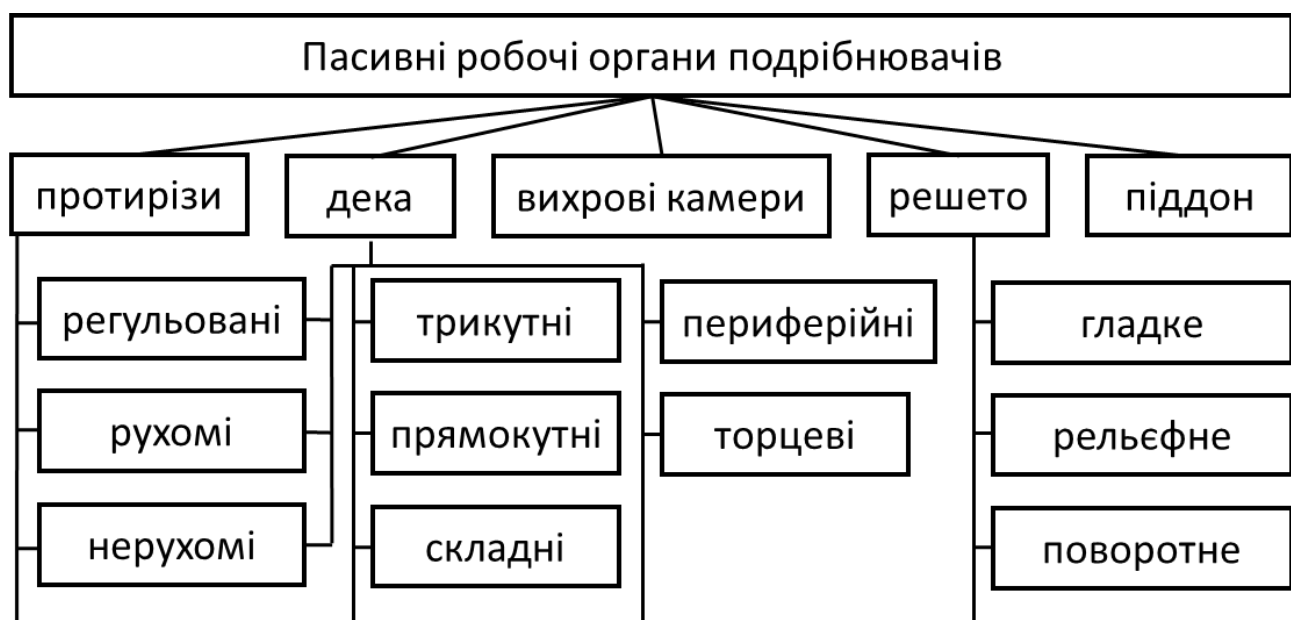


Рисунок 1.7 - Класифікація пасивних робочих органів

Дробарки закритого типу подрібнюють матеріал по колу робочої камери, утвореної в більшості решетом і декою. Тривале перебування продукту в

камері подрібнення, що приводить до переподрібнення кормової дерті, є наслідком багаторазового ударно-втираючого впливу робочих органів на матеріал.

Робочий процес молоткових дробарок вдосконалюється шляхом підвищення ефективності впливу робочих органів на матеріал, що подрібнюється і прискореного відводу готового продукту з камери подрібнення. При цьому інтенсифікація процесу руйнування зернових культур можлива за рахунок максимального використання підведеної енергії первинних ударів по зерну активними елементами і вторинних ударів матеріалу по пасивним робочим органам.

На основі класифікаційного огляду складена таблиця 1.1, характеризує роль і значимість основних елементів робочої камери на процес подрібнення зерна.

Таблиця 1.1 - Роль і значимість основних елементів дробарки закритого типу на процес подрібнення зерна

№	Елементи робочої камери	Роль елементів в процесі подрібнення
1	Молотковий ротор	- надання кінетичної енергії матеріалу, що подрібнюють - подрібнення зерна
2	Дека	- гасіння кінетичної енергії матеріалу, що подрібнюється - загальмування руху повітряно-продуктового потоку - подрібнення зерна
3	Решето	- відведення готового продукту

		- подрібнення зерна
4	Корпус	- формування повітряно продуктового потоку
5	Вихрові камери	- збільшення швидкості зіткнення робочих органів дробарки і матеріалу, що подрібнюється - підвищення пропускної спроможності - поліпшення гранулометричного складу готового продукту

Короткий класифікаційний огляд конструкцій робочих органів подрібнювача зерна закритого типу дозволяє виділити проблемні недоліки і сформулювати напрямки енерго-ресурсозбереження в розробці перспективних способів подрібнення і пристроїв для їх реалізації. Пропонується в якості пасивного робочого органу використовувати деки, встановлені на торцевих поверхнях дробильної камери, з кутом охоплення ротора по всьому колу.

1.3 Огляд досліджень подрібнювачів фуражного зерна

Огляд патентної літератури свідчить про різноманіття напрямків вдосконалення дробарок. Різноманітність конструктивних рішень, застосовуваних для руйнування зерна, говорить про те, що до сьогодні все ще ведуться пошуки по оптимізації технічних засобів для подрібнення кормових матеріалів. Одним з перспективних напрямків розвитку обладнання для подрібнення зерна в останні роки стає розробка і вдосконалення ударно-відцентрових, дискових подрібнювачів фуражного зерна, дезінтеграторів. Робота Р.А. Дружиніна [30] присвячена дослідженню робочого процесу ударно-відцентрового подрібнювача сипучих матеріалів [75]. Активними робочими органами подрібнювача є два вертикальних зустрічно обертових диска, які мають на внутрішніх поверхнях ударні елементи трикутної форми у вигляді ножів, концентрично

розміщені в рядах, при цьому один з дисків має радіальні розгінні лопатки. Інтенсифікація процесу подрібнення відбувається за рахунок спільного впливу ударних і сколюючої впливів ножів і лопаток. В ході експериментальних досліджень автором встановлено, що в якості оптимальних параметрів ударно-відцентрового подрібнювача можна рекомендувати: частота обертання завантажувального диска - 900 хв^{-1} , частота обертання відбійного диска - 2750 хв^{-1} , кількість ножів - 24 шт. на діаметрі дисків - 320 мм, зазор між ножами дисків - 4 мм.

При такому поєднанні показниками роботи розглянутого подрібнювача є: пропускна здатність $Q = 1,05 \text{ т/год}$, середній розмір частинок готового продукту $d_{\text{cp}} = 1,34 \text{ мм}$, питомі енерговитрати $E = 1,55 \text{ кВт год / т}$ і вміст пилоподібних частинок не більше 5% при відсутності в отриманій масі цілих зерен.

Сьогодні широко використовуються подрібнювачі, в яких робочий простір утворюється між поверхнями двох дисків, як правило, один з них нерухомий. В.А. Федоров [104], вивчивши структуру зернової сировини, приходить до висновку, що зерно є матеріал середньої твердості, тому раціональним способом руйнування його є різання. В результаті автором розроблена конструкція дискового подрібнювача, на подрібнюючих поверхнях якої з ексцентриситетом встановлені з одного боку ножі, а з протилежного - протирижучі пластини. При цьому з метою забезпечення різання з ковзанням і своєчасного скидання матеріалу, що подрібнюється, ножі закріплені похило від радіального положення в сторону, протилежну напрямку обертання ротора.

Основними параметрами подрібнювача по даними виробничих випробувань є: продуктивність $Q = 820 \text{ кг/год}$, питома енергоємність $E = 2,42 \text{ кВт·год/т}$, середньозважений розмір частинок $d_{\text{cp}} = 1,45 \text{ мм}$ при швидкості подрібнення $V = 25 \text{ м/с}$, зазорі між робочими органами 0,95 мм, куті заточення ножа 70° , ексцентриситеті 30 мм на діаметрі ротора 370 мм. У приготовленої дерті ціле зерно відсутнє, а зміст пилоподібної фракції близько 5%.

Конструктивне рішення подрібнювача дискового типу [76] передбачає зниження енергоємності процесу і отримання різних модулів помелу за рахунок ступінчастої установки на один вал двох пар дисків з оригінальними робочими органами. Дискові пари при взаємодії утворюють три пояси деформації: приймальний, підвідний і модульний. Останній пояс, розташований на периферійній частині диска, забезпечує заданий гранулометричний склад. Геометрія поверхонь дисків формується борозенками трикутного перетину, зверненими заглибленнями в напрямку обертання. Дослідженнями В.В. Іванова [37] обґрунтовано раціональні параметри і режими роботи дискової пари подрібнювача: подача 6000 кг/м^2 , частота обертання рухомого диска 600 хв^{-1} , зазор в модульному поясі $0,5 \text{ мм}$, щоб забезпечити отримання готового продукту дрібного, середнього і великого помелу при енергоємності процесу $1,40\text{--}1,86 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$.

Технологічне рішення конструкції подрібнювача штифтового типу - дезінтегратора дозволяє використовувати менші швидкості обертання робочих органів. Це можливо завдяки обертанню в протилежних напрямках двох тарілчастих роторів, на подрібнюючих поверхнях яких закріплені плоско-ударні елементи. Вони розташовані по концентричних колах, утворюючи кілька ступенів подрібнення. Сировина в дезінтеграторі піддається ударно-відбивній і розриваючих впливів. Результати експериментальних досліджень Н.С. Сергєєва [89] свідчать про те, що при оптимальному режимі подрібнення (кутова швидкість роторів 228 с^{-1} , окружна швидкість ударних елементів $26 \dots 40 \text{ м/с}$) при модулі помелу рівному $1,5 \dots 1,6 \text{ мм}$, питома енергоємність складе $4,0 \dots 6,0 \text{ т кВт}\cdot\text{ч/т}$.

Проведені експериментальні дослідження А.В. Акименко [3] показали перевага дробарки з ротором, що має жорстко закріплені робочі елементи голкоподібній конфігурації [77], в порівнянні з молотковим. Внаслідок великої кількості і рівномірного розташування робочих елементів зростає частота уда-

рів по подрібнюють сировини, знижується частка енергії, що витрачається на холосте переміщення, за рахунок цього підвищується ефективність процесу подрібнення. Автором встановлені оптимальні конструктивно-технологічні параметри ротора з голкоподібними елементами: колова швидкість ротора - 65-70 м/с, кількість голкоподібних елементів - 900 - 1100 шт./м² довжиною 40-50 мм і діаметром 4-6 мм. При даних значеннях досліджуваних факторів спостерігаються мінімальні питомі енерговитрати $E = 2,8$ кВт·год/т, а готовий продукт має середньозважений розмір частинок $d_{cp} = 1,25$ мм з вмістом пилоподібної фракції 4,5% і залишком на ситі 3 мм - 0%.

В роботі [17] автори при порівняльному аналізі енерговитрат ударних дробарок з жорстким і шарнірним кріпленням робочих органів до ротора роблять висновок, що шарнірно підвішений молоток не дозволяє передати всю енергію, спрямовану на руйнування матеріалу сировини, що подрібнюється, втрачаючи корисну енергію подрібнення на подолання сил інерції молотків і тертя в шарнірах в місцях їх кріплень до ротора.

З представленого огляду напрямків досліджень подрібнювачів зерна фуражних культур можна зробити висновок, що вдосконалення робочих органів дробарок ведеться з метою зниження питомих енерговитрат на робочий процес, а також підвищення якісного складу готового продукту. Однак деякі конструктивні рішення складні в серійному виробництві, що неодмінно позначається на вартості виробу. Тому, при вдосконаленні конструкції, необхідно враховувати витрати на виготовлення машини, і потім приступати до оптимізації основних режимів роботи дробарки з метою отримання якісного продукту при мінімальній енергоємності процесу подрібнення.

1.4 Висновки

В результаті проведеного огляду конструктивно-технологічних схем і

наукових робіт, присвячених процесу подрібнення зерна можна зробити висновок, що необхідно проводити подальші дослідження, які спрямовані на вдосконалення конструктивних параметрів і режимів роботи молоткового подрібнювача закритого типу. Відповідно до вищевикладеного, поставлені наступні завдання наукових досліджень:

- провести аналіз способів та засобів подрібнення фуражного зерна та визначити напрямки подальших досліджень;
- теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочих органів молоткового подрібнювача, їх взаємодію подрібнюваним матеріалом;
- експериментально дослідити вплив конструктивно-технологічних параметрів молоткового подрібнювача на показники процесу подрібнення;
 - провести обстеження розробленого подрібнювача з точки зору охорони праці;
 - провести техніко-економічне обґрунтування пропонованого рішення.

2 Теоретичні дослідження молоткового подрібнювача

2.1 Обґрунтування геометрії робочих органів подрібнювача

У кормоприготуванні, особливо при подрібненні сухого зерна, найбільше застосування знаходить ударний принцип впливу на матеріал. Цей принцип закладений в основі робочого процесу молоткових подрібнювачів. Готовий продукт виходить не тільки в результаті багаторазового ударного впливу молотків (первинних ударів), але і при зіткненні з гострими гранями, крайками і поверхнями нерухомих робочих органів, таких як деки і решета, а також при взаємних ударах і стиранні частинок в рухомому шарі.

С. В. Мельников розглядає динамічну систему подрібнювача як сукупність трьох елементів: молоткового барабана, як генератора ударних імпульсів, які сприяють зростанню кількості частинок; циркулюючого повітряно-продуктового шару, як регулюючої ємності і перфорованої поверхні, лімітуючої продуктивність процесу подрібнення.

Безперервне надходження вихідної сировини в робочу камеру в кількості q_1 і циркуляція недоподрібненого продукту протягом n циклів призводить до сталого стану, що характеризується кількісною постійністю циркулюючого потоку і гранулометричного складу вихідного потоку в кількості q_2 (рис. 2.1).

Загалом розглянемо процес подрібнення в машині безперервного подрібнення, і готовий продукт можна сформулювати без повторного подрібнення. Основний об'єм dV вибираємо з кільцевого шару потоку циркулюючого повітряного продукту, який зазнає фрагментації. Готовий продукт dm утворюється шляхом подрібнення цільнозернової сировини в межах розглянутого обсягу за одиницю часу.

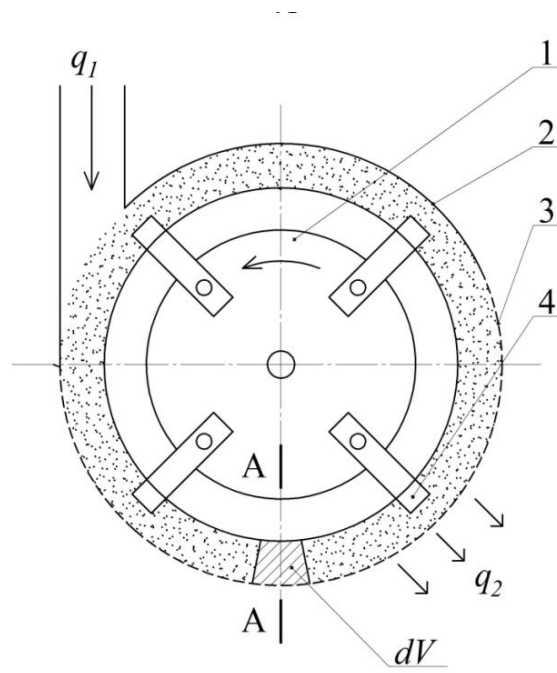


Рисунок 2.1 - Схема молоткового подрібнювача закритого типу:

1 - робоча камера; 2 - дека; 3 - решето; 4 - молоток

. У процесі подрібнення беруть участь такі елементи дробарки: молот, дека, сито, поверхня яких впливає на матеріал, а об'єм елемента dV дорівнює dS .

Диференціальне рівняння стабільного процесу запишемо так:

$$d_m = \chi \cdot S_{\text{пит}} \cdot dV, \quad (2.1)$$

де m - поточна кількість готового продукту, утвореного витримкою подрібненого матеріалу на активній поверхні робочого органу, кг/с;

χ - інтенсивність подрібнення, кг/(с·м²);

$S_{\text{пит}}$ - площа поверхні робочого органу шару продукту повітря на одиницю об'єму, м²/м³;

dV - основний об'єм шару продукту повітря, м³.

$$S_{num} = \frac{S_M + S_D + S_P}{V_{ш}}, \quad (2.2)$$

Інтенсивність подрібнення сировини можна представити наступною залежністю:

$$\chi = k \cdot L, \quad (2.3)$$

де k - коефіцієнт, що характеризує швидкість подрібнення, кг/с;

L - частка площі робочих органів, що контактує з матеріалом (змінюється від 0 до 1).

Розглянемо сталий режим роботи молоткової дробарки, через радіальний перетин кільцевого повітряно-продуктового потоку проходять цілі зерна і продукти подрібнення. Приймаємо, що виділений елементарний об'єм dV містить m кг готового продукту. У кожен одиницю часу через переріз А-А потоку (рис. 2.2) витрата вихідного (великого) продукту q_1 становить $(q_1 - m)$ і m кг готового продукту q_2 .

Тоді частки вихідного (великого) і готового продуктів в загальному потоці рівні:

$$\gamma_1 = \frac{q_1 - m}{q_1}; \quad \gamma_2 = \frac{m}{q_1}, \quad (2.4)$$

де γ_1 - частка вихідного (великого) продукту;

γ_2 - частка готового продукту в загальному потоці.

Із закону подрібнення академіка П.А. Ребіндера слідує, що з збільшенням ступеня подрібнення, тобто зі зменшенням розміру частинок, енерговитрати зростають. Тому ефективність впливу поверхонь робочих органів на ве-

ликі (цілі) і дрібні частинки буде різна і залежить від змісту їх в зоні подрібнення.

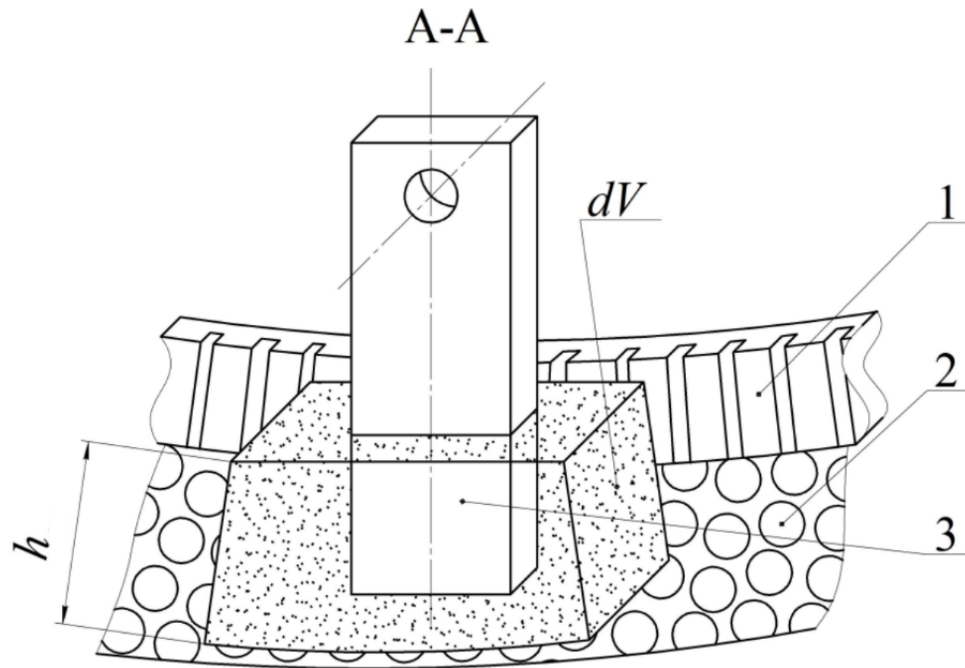


Рисунок 2.2 - Схема взаємодії робочих органів з матеріалом: 1 - дека; 2 - решето; 3 - молоток

Частка площі робочих органів, що контактує з великими частками продукту, дорівнює:

$$L_{q1} = \frac{A_{q1} \cdot \gamma_1}{A_{q1} \cdot \gamma_1 + A_{q2} \cdot \gamma_2}, \quad (2.5)$$

де A_{q1} і A_{q2} - питомі енерговитрати на подрібнення відповідно великої та дрібної продуктів, Дж/кг.

Замінюючи у виразі (2.5) значення γ_1 і γ_2 з (2.4), маємо наступний вираз для L_{q1} :

$$L_{q_1} = \frac{A_{q_1}(q_1 - m)}{A_{q_1}(q_1 - m) + A_{q_2} \cdot m}. \quad (2.6)$$

Диференціальне рівняння кінетики подрібнення з урахуванням виразів (2.1) і (2.3) запишеться:

$$dV = \frac{dm}{\chi \cdot S_{y\partial}} = \frac{dm}{k \cdot L_{q_1} \cdot S_{y\partial}}. \quad (2.7)$$

Підстановкою в дане рівняння значення L_{q_1} з (2.6) отримуємо:

$$dV = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \left(\frac{A_{q_1}(q_1 - m)}{A_{q_1}(q_1 - m) + A_{q_2} \cdot m} \right)^{-1} \cdot dm. \quad (2.8)$$

Інтегруючи рівняння (2.8) в межах $V = 0, V = V, m = 0, m = m$ отримуємо:

$$\int_0^V dV = \int_0^m \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot \frac{A_{q_1}(q_1 - m) + A_{q_2} \cdot m}{A_{q_1}(q_1 - m)} \cdot dm. \quad (2.9)$$

Тоді об'єм зони подрібнення визначиться за виразом:

$$V = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \left[\int_0^m dm + \int_0^m \frac{m}{q_1 - m} \cdot \frac{A_{q_2}}{A_{q_1}} \cdot dm \right]. \quad (2.10)$$

Скористаємося формулою інтегрування:

$$\int \frac{x dx}{ax + b} = \frac{x}{a} - \frac{b}{a^2} \ln(ax + b),$$

тоді

$$\int_0^m \frac{m dm}{q_1 - m} = \frac{m}{-1} - \frac{q_1}{1^2} \ln(q_1 - m) \Big|_0^m = -m + q_1 \ln(q_1 - m) \Big|_0^m = -m + q_1 \ln \frac{q_1}{q_1 - m}. \quad (2.11)$$

Підставляючи вираз (2.11) в (2.10), отримуємо:

$$V = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \left(m - \frac{A_{q_2}}{A_{q_1}} \cdot m + \frac{A_{q_2}}{A_{q_1}} \cdot q_1 \ln \frac{q_1}{q_1 - m} \right) \quad (2.12)$$

Уявімо повітряно-продуктовий потік як гомогенне середовище, а питомі енерговитрати на подрібнення великого і готового продуктів усередненими.

Тоді (2.12) запишеться:

$$V = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \cdot \ln \frac{q_1}{q_1 - m} \quad (2.13)$$

Позначимо відношення m/q_1 через F_{m1} - вихід матеріалу в частках одиниці за один цикл, вираз (2.13) запишеться:

$$V = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \cdot \ln \frac{1}{1 - F_{m1}}. \quad (2.14)$$

Для цієї схеми подрібнення згідно з рівнянням (2.14) площа об'єму шару продукту повітря V буде залежати від переміни сировини q_1 , коефіцієнта, що

характеризує інтенсивність подрібнення k , площі молотків робочого органу та виходу подрібненого продукту q_2 .

Так як в зоні подрібнення є не тільки матеріали, що надходять, але й нерозмелені матеріали, навантаження дробарки в усталеному стані дорівнює:

$$M_u = q_k - q_1, \quad (2.15)$$

де M_u - об'єм зерна, який рециркулює в робочій камері, кг/с;

q_k - об'єм зерна в робочій камері, кг/с;

q_1 - об'єм зерна, що завантажується, кг/с.

Розмір M_u залежить від кількості готового продукту F_1 при подрібненні (вихід готового продукту за оберт матеріалу навколо робочої порожнини) та ефективності видалення продукту подрібнення. У першому наближенні будемо вважати умову, що циркулюючий потік містить найменшу кількість готового продукту.

Тоді (2.14) буде мати вигляд

$$V = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot M_u \cdot \ln \frac{1}{1 - F_{.m1}}. \quad (2.16)$$

Якщо припустити, що загальний вихід готового продукту після подрібнення шару рециркуляції дорівнює F_u , то кількість утилізованого продукту буде визначатися рівнянням матеріального балансу:

$$M_u = q_1 \cdot \frac{F_u}{F_{.m1}}. \quad (2.17)$$

За формулою (2.16) і формулою (2.17) отримано остаточну розрахункову формулу для визначення витрати повітря при роботі закритої дробарки

$$V = \frac{1}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \cdot \frac{F_u}{F_{M1}} \ln \frac{1}{1 - F_{M1}}. \quad (2.18)$$

Мінімальний об'єм V_{\min} зони подрібнення отримуємо шляхом розв'язання рівняння (2.18), яке виявляє невизначеність за умови $F_{M1} \rightarrow 0$:

$$\lim_{F_{M1} \rightarrow 0} V = \frac{F_u}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \lim_{F_{M1} \rightarrow 0} \frac{\ln \frac{1}{1 - F_{M1}}}{F_{M1}}. \quad (2.19)$$

Згідно з правилом Лопітала межа дробу замінюємо на ставлення похідних:

$$\begin{aligned} \lim_{F_{M1} \rightarrow 0} V &= \frac{F_u}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \lim_{F_{M1} \rightarrow 0} \frac{\frac{d}{d F_{M1}} \ln \frac{1}{1 - F_{M1}}}{\frac{d}{d F_{M1}} \cdot F_{M1}} = \\ &= \frac{F_u}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \lim_{F_{M1} \rightarrow 0} \frac{\frac{d}{d F_{M1}} [-\ln(1 - F_{M1})]}{\frac{d}{d F_{M1}} \cdot F_{M1}}. \end{aligned} \quad (2.20)$$

Визначаючи похідні, отримаємо:

$$\begin{aligned} \lim V &= \frac{F_u}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \cdot \lim_{F_{M1} \rightarrow 0} \frac{-\frac{1}{1 - F_{M1}} (-1)}{1} = \\ &= \frac{F_u}{k \cdot S_{y\partial}} \cdot q_1 \cdot \lim_{F_{M1} \rightarrow 0} \frac{1}{1 - F_{M1}}. \end{aligned} \quad (2.21)$$

В межі матимемо:

$$V_{\min} = \frac{q_1 \cdot F_y}{k \cdot S_{y\partial}}. \quad (2.22)$$

Ця кореляція дозволяє визначити мінімальний об'єм V_{\min} повітряного кільця подрібнювача для заданої потужності.

Використовується для порівняння та оцінки різних співвідношень параметрів робочого органу зернодробарки або вибору ефективного режиму його роботи. С.В. Мельников запропонував формулу для розрахунку питомої роботи подрібнення:

$$A_{\text{нодр}} = C_1 l g \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1), \quad (2.23)$$

де C_1 і C_2 - емпіричні коефіцієнти, характеризують питомі енерговитрати подрібнення матеріалу, Дж/кг;

λ - ступінь подрібнення.

Робота подрібнення циркулюючого шару визначається з рівняння:

$$A_{\text{деф.ш}} = 1/2 \cdot z \cdot n \cdot \tau \cdot V_{\text{ш}} \cdot \rho \cdot \mu_z \cdot v_{\text{від}} \quad (2.24)$$

де z - кількість молотків, шт.;

n - частота обертання ротора, с^{-1} ;

τ - час подрібнення матеріалу, с;

ρ - питома вага матеріалу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

μ_z - вага матеріалу в циркулюючому шарі, $\text{кг}/\text{кг}$;

$v_{\text{від}}$ - швидкість молотків, $\text{м}/\text{с}$;

$V_{\text{ш}}$ - об'єм циркулюючого шару, м^3 .

$$V_{ш} = \pi \cdot D \cdot L \cdot h_{ш}, \quad (2.25)$$

де D - діаметр подрібнювальної камери, м;

L - довжина подрібнювальної камери, м;

$h_{ш}$ - ширина циркулюючого шару, м.

Прирівнюючи вирази (2.23) і (2.24), визначаємо об'єм кільцевого повітряно-продуктового шару:

$$V_{сл} = \frac{2 \cdot M_u \cdot [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]}{z \cdot n \cdot \tau \cdot \rho \cdot \mu_3 \cdot v_{отн}^2}. \quad (2.26)$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь (2.22) і (2.26), знаходимо питому площу робочих органів подрібнювача:

$$S_{уд} = \frac{q_1 \cdot F_u \cdot z \cdot n \cdot \tau \cdot \rho \cdot \mu_3 \cdot v_{отн}^2}{2 \cdot k \cdot M_u \cdot [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]}. \quad (2.27)$$

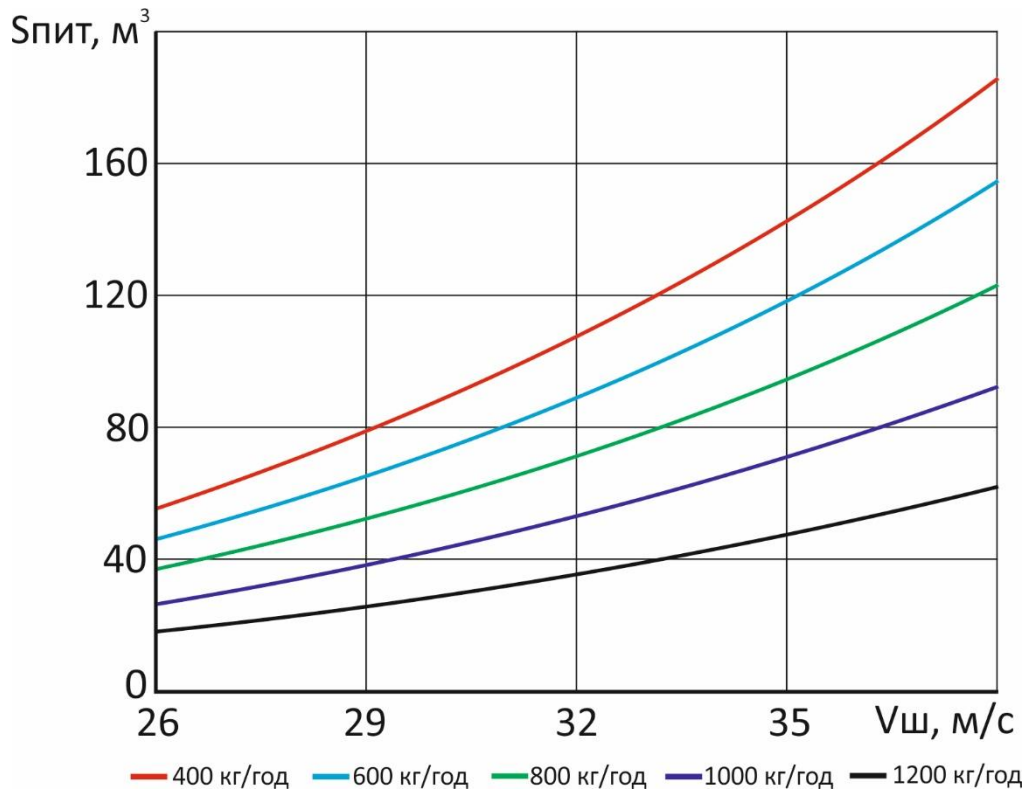


Рисунок 2.3 - Залежність питомої площі робочих органів

На рис. 2.3 представлена залежність питомої площі робочих органів від зміни швидкості взаємодії молотків з матеріалом і пропускної здатності при заданих параметрах дробарки: довжина робочої камери 0,105 м, діаметральний переріз камери 0,047 м², площа решета 0,15 м². Основними вихідними параметрами будуть: фізико-механічні властивості матеріалу, конфігурація робочих поверхонь машини і режим подрібнення.

2.2 Витрати енергії на тертя і створення повітряного потоку

Скористаємося формулою Вейсбаха, що дозволяє оцінити величину витрат енергії на тертя. Питомі втрати енергії, виражені в приведеній висоті повітряного стовпа, визначаються рівнянням:

$$h_d = \xi_d \frac{U^2}{2g}, \quad (2.28)$$

де h_d - питомі втрати енергії, м;

ξ_d - коефіцієнт опору повітря об диски;

U - відносна колова швидкість, м/с;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Різниця частот обертання молоткового ротора як робочого колеса і повітряного потоку являє собою відносну колову швидкість, пропорційну радіусу R_d :

$$U = (\omega_k - \omega_b) R_d, \quad (2.29)$$

де ω_k - частота обертання робочого колеса, рад/с;

ω_b - частота обертання повітряного потоку, рад/с;

R_d - відстань від осі обертання робочого колеса, м.

З цього виразу розраховується відносна частота обертання потоку повітря ω , яка дорівнює $\omega = \omega_k - \omega_b$, тоді $U = \omega R_d$.

В результаті від тертя повітряного потоку об диски виникають дотичні напруження, які визначимо за виразом:

$$\tau = \rho g h_d = \rho g \xi_d \frac{\omega^2 R_d^2}{2g}, \quad (2.30)$$

де τ - дотична напруга тертя, Па;

ρ - щільність повітря, кг/м³.

Елементарну силу тертя, пропорційну сумарній площі поверхонь тертя, розраховуємо за рівнянням:

$$dF_d = \tau dS_d, \quad (2.31)$$

де dF_d - елементарна сила тертя, Н;

dS_d - елементарна площа поверхні тертя дисків, m^2 .

Елементарна сила тертя з урахуванням виразу (2.31) буде дорівнює:

$$F = \rho \cdot g \cdot \xi_d \frac{\omega^2 R_d^2}{2g} \cdot d S_d. \quad (2.32)$$

Для зручності аналізу елементарну площу поверхні тертя dS_d розглянемо у вигляді кільця шириною dR_d на відстані R_d від центру обертання:

$$dS_d = \pi R_d \cdot dR_d \quad (2.33)$$

Тоді елементарний момент тертя дорівнює:

$$dM_d = dF_d \cdot R_d. \quad (2.34)$$

а з урахуванням сили тертя:

$$dM_d = \rho \xi_d \pi R_d dR_d \quad (2.35)$$

Отже, потужність dP_d , що витрачається на тертя повітряного потоку об диски, буде дорівнює:

$$dP_d = dM_d \omega, \quad (2.36)$$

після підстановки значень моменту тертя і відносної частоти обертання потоку повітря вираз (2.36) набуде вигляду:

$$dP_d = \pi \rho \xi_d \omega^3 R_d^4 dR_d, \quad (2.37)$$

Інтегруючи цей вираз по всій ширині кільця, знайдемо всю потужність, затрачену на тертя:

$$P_d = \int_{R_{1d}}^{R_{2d}} d P_d. \quad (2.38)$$

Для основного диска (рис. 2.4) необхідно враховувати дві бічні робочі сторони без урахування площі торцевих поверхонь.

Тоді в результаті інтегрування за умови незмінності відносної частоти обертання потоку повітря ω потужність, що витрачається на тертя, набуде вигляду:

$$P_{d1} = 2\pi \rho \xi_d \omega^3 \frac{R_{2d}^5}{5}. \quad (2.39)$$

Для верхнього диску також враховуємо дві бічні робочі поверхні без урахування площі торцевих поверхонь. Тоді потужність на тертя в загальному у разі визначиться виразом:

$$P_{d2} = 2\pi \rho \xi_d \omega^3 \left(\frac{R_{2d}^5 - R_{1d}^5}{5} \right). \quad (2.40)$$

Для розрахунку втрат енергії на тертя повітря по поверхні молотків представимо пакети молотків нерухомими, на які рухається потік повітря зі швидкістю $U = \omega R_m$. В цьому випадку, застосовуючи формулу Вейсбаха, питомі

втрати енергії, необхідні на подолання опору одного пакета молотків, дорівнюватимуть:

$$h_m = \xi_m \frac{U^2}{2g} = \xi_m \frac{\omega^2 R_m^2}{2g}, \quad (2.41)$$

де ξ_m - коефіцієнт опору молотків, що залежить від їх геометричної конфігурації і взаємного розташування.

Витрати елементарної потужності на подолання опору одного пакета молотків запишуться:

$$dP_m = \rho g h_m dQ, \quad (2.42)$$

де dQ - елементарна витрата повітря через пакет молотків, $\text{м}^3/\text{с}$.

Елементарну витрату dQ визначимо з розрахункової схеми:

$$dQ = \omega \cdot R_m \cdot L \cdot dR_m, \quad (2.43)$$

де L - довжина дробильної камери (робочого колеса).

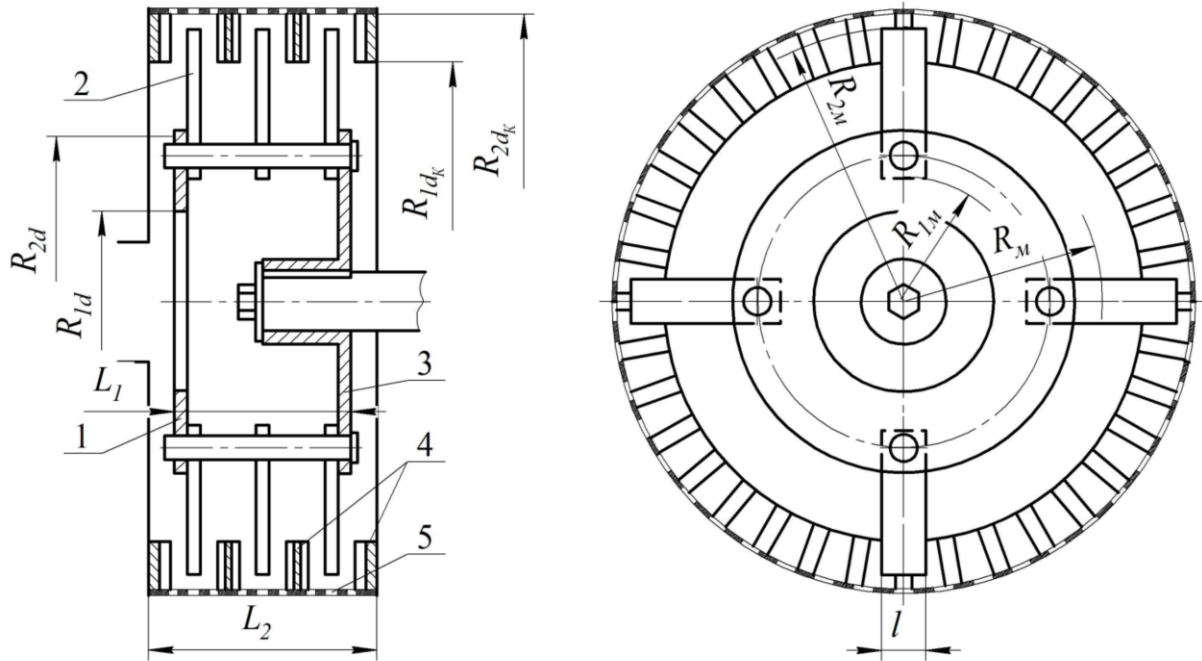


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема: 1 - диск верхній; 2 - молоток; 3 - диск основний; 4 - кільцева дека; 5 – решето

Елементарна потужність dP_M з урахуванням виразів (2.41) і (2.43) прийме вид:

$$dP_M = \rho \xi_p \frac{\omega^3 R_M^3}{2} L dR_M. \quad (2.44)$$

Визначаючи сумарну потужність, що витрачається на тертя потоку повітря для одного пакета молотків, необхідно врахувати довжину молотків:

$$P_M = \int_{R_{1M}}^{R_{2M}} dP_M \quad (2.45)$$

Потужність, що витрачається на тертя потоку повітря в зоні дії молоткового ротора для k пакетів молотків, визначимо, інтегруючи вираз (2.44):

$$P_{mk} = k L \rho \xi_m \omega^3 \left(\frac{R_{2,m}^4 - R_{1,m}^4}{8} \right). \quad (2.46)$$

Коефіцієнт опору молоткового поля ξ_m , що залежить від геометричної форми молотків (довжини, ширини, товщини) і розстановки їх в пакеті, можливо визначити за формулою:

$$\xi_m = \beta \cdot \xi_p, \quad (2.47)$$

де β - коефіцієнт, що характеризується поздовжнім розрізом ударного елемента, приймається з табличних даних (для прямокутної форми $\beta = 1$);

ξ_p - коефіцієнт, що залежить від співвідношень S і d .

Параметр S , визначиться зі співвідношення, що характеризується пакет молотків:

$$\bar{S} = \frac{\bar{S}_2}{S_1}, \quad (2.48)$$

де S_1 - площа перерізу робочої камери в радіальній площині, m^2 ;

S_2 - сумарна площа перерізу пакетів молотків, m^2 .

Параметр S буде приймати різні значення по довжині молотка. Це пов'язано з тим, що частина молотка знаходиться всередині основного і верхнього дисків, а інша - за їх межами. Таким чином, розрахунок втрат енергії на тертя повітря об молотки слід вести диференційовано для двох його частин.

Параметр d постійний по всій довжині молотка:

$$\bar{d} = \frac{4 S'}{\chi'}, \quad (2.49)$$

де S' - сумарна площа перерізу в пакеті між сусідніми молотками, м^2 ;

χ' - периметр перерізу, м.

Питомі енерговитрати на тертя повітря по поверхні дек рівні:

$$h_{d_k} = \xi_{d_k} \frac{\omega^2 \cdot R_{d_k}^2}{2g}, \quad (2.50)$$

де ξ_{d_k} - коефіцієнт опору повітря по торцевій поверхні дек;

R_{d_k} - радіус дек, м.

В результаті тертя повітряного потоку об деки виникають дотичні напруження, які визначаються за формулою:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot h_{d_k} = \rho \cdot g \cdot \xi_{d_k} \frac{\omega^2 \cdot R_{d_k}^2}{2g}, \quad (2.51)$$

де ρ - щільність повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Сила тертя об робочі поверхні дек дорівнює:

$$dF_{d_k} = \tau \cdot dS_{d_k}, \quad (2.52)$$

де dS_{d_k} - елементарна площа торцевої поверхні дек, представлена кільцем шириною dR_{d_k} на радіусі R_{d_k} , м^2

Потужність, що витрачається на тертя потоку повітря об деки, становить:

$$dP_{d_k} = dF_{d_k} \cdot R_{d_k} \cdot \omega_v, \quad (2.53)$$

де ω_v - частота обертання повітряного потоку, рад/с.

Підставляючи в дане рівняння виразу (2.51) і (2.52) і спростивши його, отримаємо:

$$dP_{d_k} = \pi \cdot \rho \cdot \xi_{d_k} \cdot \omega_v \cdot R_{d_k} \cdot dR_{d_k}, \quad (2.54)$$

Сумарна потужність, що витрачається на тертя об поверхню однієї деки P_{1d_k} буде рівна:

$$P_{1d_k} = \int_{R_{1d_k}}^{R_{2d_k}} dP_{d_k}, \quad (2.55)$$

де R_{1d_k} і R_{2d_k} - мінімальний і максимальний радіуси кільцевих дек, м.

З огляду на те, що кожен кільцевий канал обмежений двома бічними стінками (деками), то за результатами інтегрування потужність на тертя об поверхні дек для кожного каналу визначиться залежністю:

$$P_{d_k} = 2\pi \cdot \rho \cdot \xi_{d_k} \cdot \omega_v^3 \cdot \frac{(R_{2d_k}^5 - R_{1d_k}^5)}{5}, \quad (2.56)$$

Тоді загальні витрати потужності на тертя потоку повітря об робочі органи подрібнювача з урахуванням виразів визначаються як:

$$P_{mp} = 2\pi \rho \xi_d \omega^3 \frac{(2R_{2d}^5 - R_{1d}^5)}{5} + \kappa L \rho \xi_m \omega^3 \frac{(R_{2m}^4 - R_{1m}^4)}{8} + 2\pi \cdot \rho \cdot \xi_{d_k} \cdot \omega_6^3 \cdot \frac{(R_{2d_k}^5 - R_{1d_k}^5)}{5}. \quad (2.57)$$

В процесі роботи подрібнювача за рахунок тертя потоку повітря об робочі органи частина енерговитрат передається повітряному потоку. В результаті витрати енергії зростають, тому для обліку витрати потужності, що витрачається на вентиляцію введемо поправочний коефіцієнт в:

$$P_{mp+\epsilon} = \epsilon P_{mp}, \quad (2.58)$$

де ϵ - коефіцієнт, що враховує зростання енерговитрат залежно від завантаження подрібнювача.

Таким чином, остаточне рівняння для визначення витрат потужності на тертя і створення повітряного потоку в молотковому подрібнювачі з кільцевими деками прийме такий вигляд:

$$P_{mp+\epsilon} = \epsilon \left[2\pi \rho \xi_d \omega_p^3 \frac{(2R_{2d}^5 - R_{1d}^5)}{5} + k L_1 \rho \xi_{2m} \omega_p^3 \frac{(R_{2m}^4 - R_{2d}^4)}{8} + k L_2 \rho \xi_{1m} \omega_p^3 \frac{(R_{2d}^4 - R_{1m}^4)}{8} + 2\pi \rho \xi_{d_k} \omega_p^3 \frac{(R_{2d_k}^5 - R_{1d_k}^5)}{5} \right], \quad (2.59)$$

де ω_p - розрахункова відносна частота обертання потоку повітря, рад/с;

L_1 і L_2 - довжина молоткового ротора і камери подрібнення, м;

ξ_{1m} і ξ_{2m} - коефіцієнти опору молотків всередині основного і верхнього дисків і за їх межами.

За результатами лабораторних досліджень $\epsilon = 1 \dots 1,8$. На холостому ходу поправочний коефіцієнт ϵ приймає максимальне значення, а мінімальне - при

номінальному завантаженні подрібнювача. Для теоретичних розрахунків величина коефіцієнта опору ξ_d , прийнята за даними експериментальних досліджень, становить 0,028.

На рис. 2.5 представлені розраховані за рівнянням (2.59) значення потужності на холостий хід молоткового подрібнювача від площі кільцевих дек і швидкості молотків.

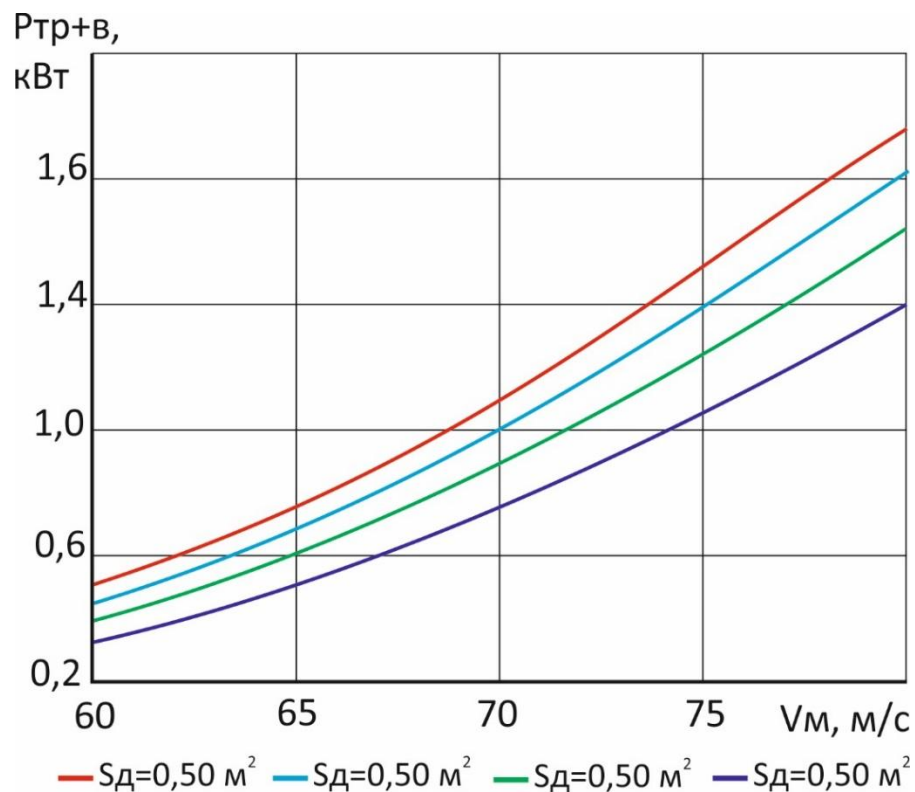


Рисунок 2.5 - Залежність зміни витрат потужності на тертя і створення повітряного потоку об поверхні робочих органів робочої камери від зміни швидкості молотків

Характер зміни потужності зростаючий при збільшенні значень факторів. В результаті встановлення кільцевих дек в міжмолотковому просторі робочої камери, відповідно до виразу (2.59) відбудеться збільшення енерговит-

рат на тертя повітря об пасивні робочі органи, що свідчить про забезпечення гальмуючих умов руху повітряного потоку.

2.3 Висновки

1. Питома площа робочого органу бере участь у процесі подрібнення зерна за рахунок основного удару активного елемента - молотка, загальна площа якого дорівнює S_m , а другого удару по пасивному робочому органу - деку і решето, площі яких відповідно S_d і S_r залежать від основних факторів: фізико-механічних характеристик матеріалу, властивості поверхні та режими способу подрібнення. Тому основними умовами розвитку пристроїв для подрібнення зерна є подальше вивчення характеристик матеріалів і розробка робочих органів подрібнювачів, що забезпечують подрібнення за рахунок максимального використання робочих поверхонь робочої камери.

2. Оскільки кільцева колода встановлена в просторі між молотками, тертя між потоком повітря і пасивним робочим органом збільшить споживання енергії, що вплине на створення гальмуючих умов повітряного потоку. Взаємодія повітряно-продуктового шару з кільцевими деками дозволяє зменшити колову швидкість матеріалу, що подрібнюється за рахунок загальмування повітряно-продуктового шару, що в свою чергу сприяє підвищенню відносної швидкості зіткнення молотків з частинками зерна.

3. З урахуванням найбільшої ймовірності кута підльоту частинок β' до деки, в межах $7...14^\circ$, кут грані деки γ щодо торцевої стіни дробильної камери повинен складати $77...84^\circ$.

3 Лабораторні дослідження процесу подрібнення зерна

3.1 Програма та методика лабораторних досліджень

Метою досліджень є підвищення ефективності процесу подрібнення зерна подрібнювачем з кільцевими рифленими деками за рахунок обґрунтування і оптимізації конструкційно-кінематичних параметрів робочих органів дробильної камери. Відповідно до мети та поставленими завданнями, розроблена програма експериментальних досліджень, що містить наступні етапи:

1. Розробка і виготовлення експериментальної установки дробарки закритого типу з деками, виконаними у вигляді кілець, встановлених в міжмолотковому просторі і на торцевих стінках дробильної камери.

2. Визначення енерговитрат на тертя і вентиляцію в подрібнювачі з кільцевими деками.

3. Дослідження формування гранулометричного складу готового продукту після подрібнення.

Для вивчення процесу подрібнення зерна розроблена експериментальна установка подрібнювача, схема якої представлена на рис. 3.1.

Експериментальна установка містить завантажувальний 1 і вивантажувальну горловину 2, робочу камеру 3 з молотковим ротором 4, деками 5 і решето 6, що охоплює молотковий ротор 4 по колу. Деки 5 виконані у вигляді кілець, встановлених в міжмолотковому просторі дробильної камери 4, причому решето, що охоплює молотковий ротор 6 і деки 5 утворюють кільцеві канали 7, при цьому торцеві 8 поверхні деки 5 виконані рифленими і ребра 9 рифлів торцевих поверхонь 8 дек 5 розташовані в радіальному напрямку - по радіусу.

Технологічний процес подрібнення відбувається наступним чином. Матеріал (зерно) через завантажувальний горловину 1 надходить в дробильну

камеру 3, де молотковим ротором 4 отримує перші удари і відкидається до периферії в кільцеві канали 7, вдаряється об деки 5 і решето 6. Відбиваючись від дек 5 і решета 6, частки сповільнюють свій рух, проте в зоні дії молоткового ротора вони знову прискорюються.

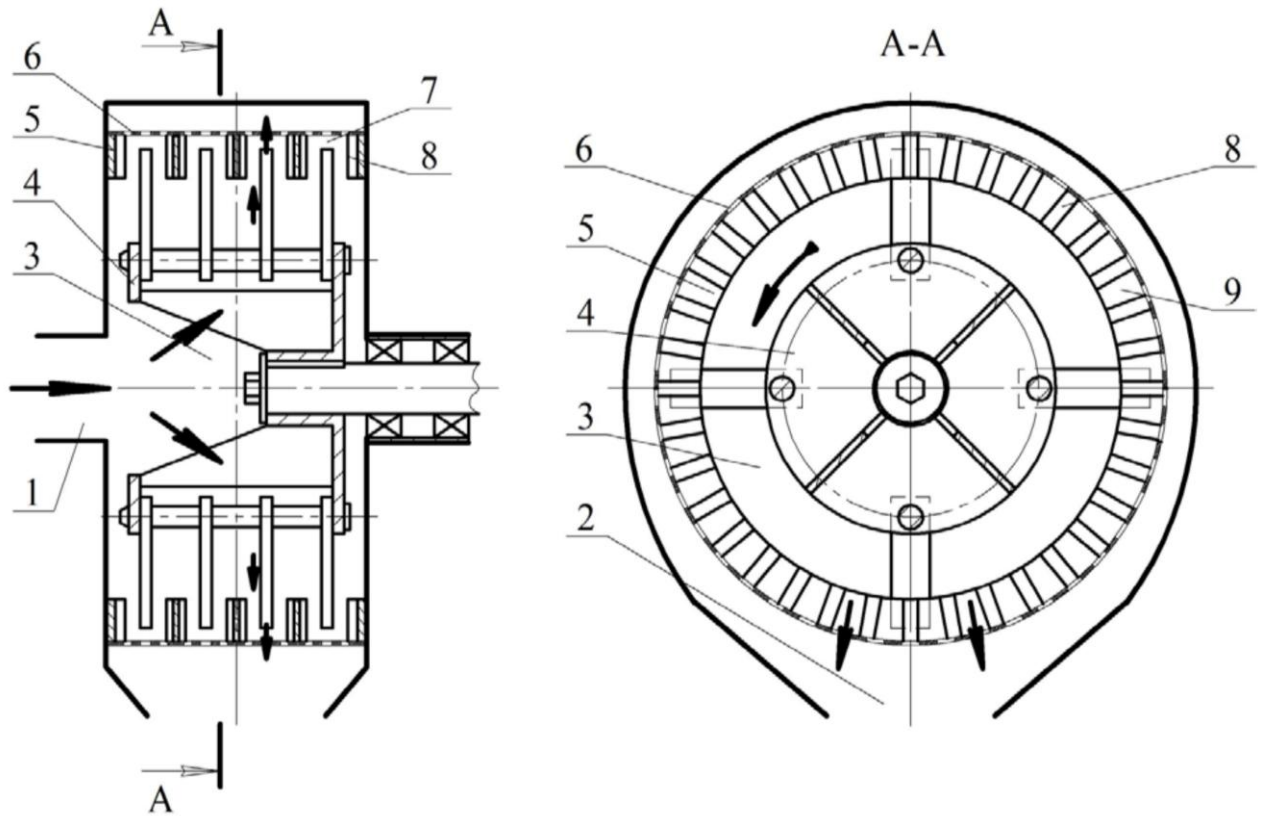


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема подрібнювача згідно розробки: 1 - завантажувальний патрубок; 2 - розвантажувальний патрубок; 3 – подрібнююча камера; 4 - ротор; 5 - дека; 6 - класифікатор; 7 - кільцеві канали; 8 - поперечні поверхні дек; 9 - ребра дек

При сталому процесі по всій внутрішній поверхні робочої камери 3 утворюється шар матеріалу. Від багаторазових зіткнень з молотковим ротором 4, ребрами 9 рифлів дек 5 і решетом 6 матеріал (зерно) подрібнюється. Гото-

вий продукт виводиться з дробильної камери через решето 6, що охоплює молотковий ротор 4 і кільцеві канали 7, в вивантажувальну горловину 2.

На базі цієї схеми з метою дослідження і оптимізації основних характеристик робочого процесу дробарки зерна ударної дії, а також оцінки її енергетичної ефективності на кафедрі механізації виробничих процесів у тваринництві виготовлена експериментальна установка (рис. 3.2). Зміна частоти обертання ротора дробарки здійснювали підключенням електродвигуна через частотний перетворювач N-700E. Також за показаннями на його дисплеї за допомогою відеофіксації оцінювали енерговитрати процесу подрібнення.



Рисунок 3.2 - Загальний вигляд експериментальної установки

Основними показниками процесу подрібнення продукту є питома енергоємність, пропускна здатність подрібнювача і якість готового продукту. Визначення енергоємності процесу подрібнення проводили за допомогою частотного перетворювача. Потужність на валу ротора подрібнювача визначали з урахуванням ККД електродвигуна за методикою.

Ефективну P_e і корисну P_k потужність на валу досліджуваного подрібнювача підраховували за формулами:

$$P_e = P \cdot \eta_{p.x.}; \quad (3.1)$$

$$P_k = P \cdot \eta_{p.x.} - P_{x.x.} \cdot \eta_{x.x.}, \quad (3.2)$$

де $\eta_{p.x.}$, $\eta_{x.x.}$ - ККД електродвигуна в режимах робочого і холостого ходу подрібнювача;

$P_{x.x.}$ - потужність, витрачена на холостий хід дробарки, кВт.

Величину питомих енергетичних витрат, віднесених до одиниці маси готового продукту визначали за формулами:

$$q_e = P_e / Q; \quad (3.3)$$

$$q_k = P_k / Q; \quad (3.4)$$

де q_e , q_k - питомі витрати ефективною і корисною потужності, кВт·год/т;

Q - пропускна здатність дробарки, т/год.

Пропускную здатність подрібнювача визначали при сталому режимі її роботи шляхом відбору проб готового продукту за певний час. Пропускную здатність дробарки визначали за формулою:

$$Q = 3,6G/t, \quad (3.5)$$

де G - маса проби, кг;

t - час відбору проби, с.

Для визначення середньозваженого розміру і гранулометричного складу, подрібненого зернового матеріалу проводився аналіз наважки масою 0,1 кг, взятої з контрольного помелу, наважки просівають на класифікаторі ЛР-3М (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 - Загальний вигляд набору сит класифікатора

Залишок на кожному з сит і в збірному дні зважувався на вагах ВК-600 з точністю до 0,01 г. Підраховувався середньозважений розмір за формулою:

$$d_{cp} = \frac{\sum x_i \cdot p_i}{100}, \quad (3.6)$$

де x_i - середній розмір окремого класу, мм;

p_i - масовий вихід класу, %.

Оцінку однорідності і вихід частинок по класах здійснювали шляхом графічної інтерпретації гранулометричного складу подрібненого продукту.

Для оцінки енерговитрат на створення повітряного потоку і його взаємодія з елементами робочої камери визначали потужність на тертя і вентиляцію:

$$N_{тр + в} = N_{х.х.дроб.} - N_{х.х.двиг.}, \quad (3.7)$$

де $N_{х.х.подр}$ - потужність холостого ходу подрібнювача, кВт;

$N_{х.х.двиг.}$ - потужність холостого ходу електродвигуна дробарки (при зняттю молоткового роторі дробарки), кВт.

3.2 Результати лабораторних досліджень та їх аналіз

Молотковий ротор подрібнювача, подібно крильчатці радіального вентилятора, пакетами молотків генерує повітряний потік в робочій камері, який є робочим тілом і вимагає певних енерговитрат поряд з енерговитратами на подрібнення матеріалу.

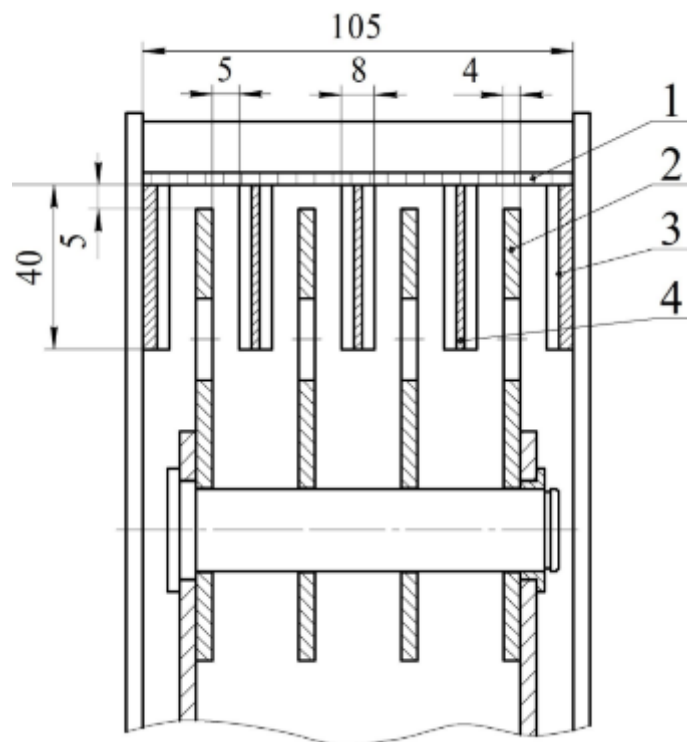


Рисунок 3.4 - Схема робочої камери експериментальної дробарки з кільцевими деками : 1 - решето; 2 - молоток; 3 - торцева кільцева дека; 4 - центральна кільцева дека

Енергоємність процесу подрібнення в дробарках залежить від ряду конструктивних і технологічних факторів, а також від взаємодії кільцевого повітряного потоку з поверхнями активних і пасивних робочих органів дробильної камери, супроводжуваного тертям.

З метою визначення витрат енергії під час холостого ходу подрібнювача проведено два експерименти, в яких досліджувався вплив таких конструктивно-технологічних факторів, як: швидкість молотків V_m , площа кільцевих дек S_d і ширина пазів кільцевих дек t .

У першому експерименті використовувалися кільцеві деки без рифлення (гладкі кільця). Матриця плану експерименту і результати, розраховані по триразовою повторності дослідів, представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Матриця плану і результати експерименту

Позначення	Фактори		Критерій оптимізації			
	Швидкість молотків V_m , м/с	Площа кільцевих дек S_d , м ²	Енерговитрати на тертя і вентиляцію $P_{тр+в}$, кВт			
Рівні факторів	x_1	x_2	y'	y''	y'''	y
Верхній (+1)	74	0,40				
нульовий (0)	67	-				
Нижній (-1)	60	0,20				
Дослід 1	-1	-1	0,46	0,46	0,44	0,45
2	-1	+1	0,57	0,56	0,57	0,57
3	0	-1	0,65	0,65	0,64	0,64
4	0	+1	0,77	0,814	0,78	0,79

5	+1	-1	0,77	0,77	0,78	0,77
6	+1	+1	1,04	1,03	1,04	1,04

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримана математична модель і побудовані двовимірні перерізи.

$$y = P_{\text{тр+в}} = 0,719 + 0,199 x_1 + 0,087 x_2 - 0,01x_1^2 + 0,039 x_1x_2. \quad (3.8)$$

Аналіз результатів показує, що збільшення площі гладких кільцевих дек в 4 рази призводить до зростання енерговитрат на тертя і вентиляцію на 21...32% (рис. 3.5, а). В області експерименту найбільше впливає збільшення швидкості активних робочих органів (молотків).

Таблиця 3.2 - Матриця плану і результати експерименту

Позначення	Фактори		Критерій оптимізації			
	Швидкість молотків $V_m, \text{ м/с}$	Ширина пазів кільцевих грудня $t, \text{ мм}$	Енерговитрати на тертя і вентиляцію $P_{\text{тр+в}}, \text{ кВт}$			
Рівні факторів	x_1	x_3	y'	y''	y'''	y
Верхній (+1)	74	20				
нульовий (0)	67	-				
Нижній (-1)	60	5				
Дослід 1	-1	-1	0,54	0,53	0,54	0,54
2	-1	+1	0,84	0,84	0,83	0,83
3	0	-1	0,68	0,656	0,64	0,64

4	0	+1	0,97	0,98	0,96	0,96
5	+1	-1	0,83	0,82	0,83	0,83
6	+1	+1	1,25	1,26	1,27	1,26

На наступному етапі проведено експеримент з деками, торцеві поверхні яких виконані рифленими, при цьому пази рифів мали ширину 5 і 20 мм. Матриця плану і результати експерименту представлені в таблиці 3.2.

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії:

$$y = P_{\text{тр+в}} = 0,815 + 0,177 x_1 + 0,174 x_3 + 0,051x_1^2 + 0,032 x_1x_3. \quad (3.9)$$

Вплив рифлення дек у вигляді пазів шириною 5 і 20 мм відображено на двовимірному перетині (рисунок 3.5, б). Вплив досліджуваних факторів на критерій оптимізації $P_{\text{тр+в}}$ в області експерименту практично однаково. При збільшенні ширини пазів в 4 рази (з 5 до 20 мм) енерговитрати зростають з 0,54 до 1,25 кВт, що свідчить про гальмуючий ефект дек з більшими пазами.

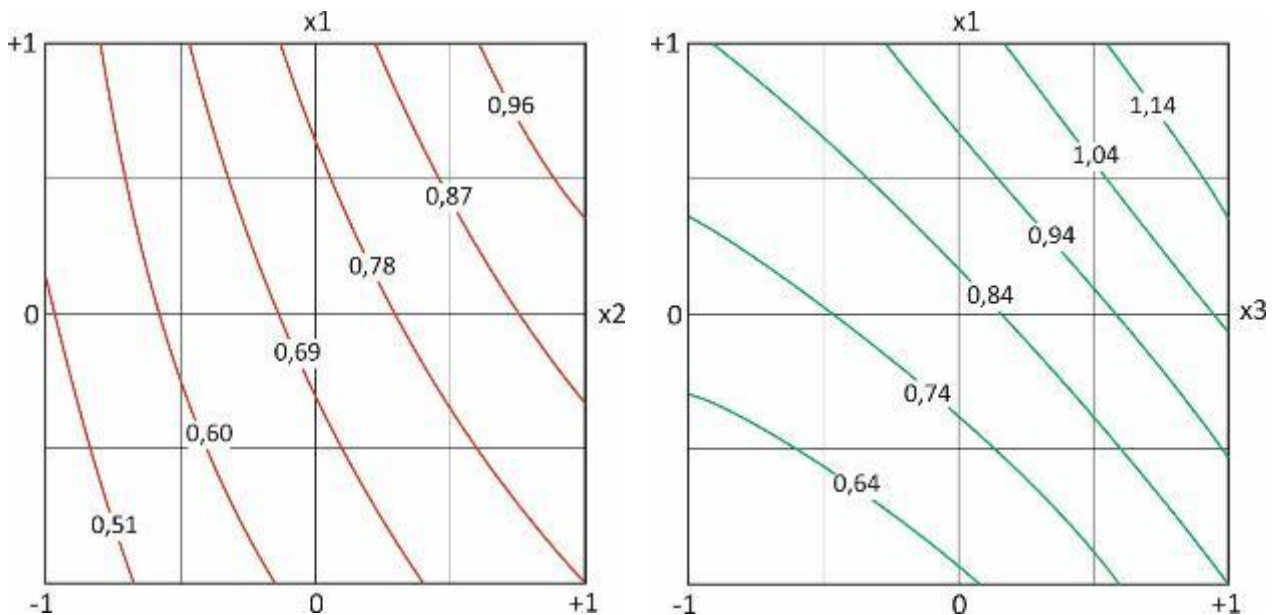


Рисунок 3.5 - Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризує залежність енерговитрат на тертя і вентиляцію від: а - швидкості молотків V_m (x_1) і площі кільцевих дек S_d (x_2); б - швидкості молотків V_m (x_1) і ширини кільцевих дек (x_3)

На основі виконаного дослідження можна зробити висновок, що при встановленій потужності електродвигуна дробарки 2,2 кВт частка енерговитрат на тертя і вентиляцію при гладких кільцевих деках становить від 6,1 до 13,9%, при наявності рифлення енерговитрати зростають до 16,8 %.

Таким чином, в результаті установки кільцевих дек в міжмолотковому просторі робочої камери збільшуються енерговитрати на тертя повітряного потоку об робочі органи, що говорить про створення гальмуючих умов руху повітряного потоку, що призводять до підвищення відносної швидкості зіткнення молотків з частинками зерна.

Таблиця 3.3 - Матриця плану 3^2 і результати експерименту

Позначення	Фактори		Критерій оптимізації			
	Швидкість молотків V_m , м/с	Кільцеві деки	Питомі енергозаграти E	Пропускна здатність Q	Ступінь подрібнення λ	Вміст пилоподібної фракції m_0
Рівні факторів	x_1	x_2	У ₁	У ₂	У ₃	У ₄
Верхній (+1)	74	20				
нульовий (0)	67	-				
Нижній (-1)	60	5				
1	-1	-1	2,36	935	3,25	3,92
2	0	-1	2,16	1095	3,34	3,4
3	+1	-1	1,58	1188	3,55	3,5
4	-1	0	2,25	1024	2,92	2,7
5	0	0	2,15	1178	2,98	2,4
6	+1	0	1,65	1211	3,47	2,5

7	-1	+1	1,21	1033	3,18	2,0
8	0	+1	1,95	1142	3,43	2,7
9	+1	+1	1,67	1172	3,85	3,6

З метою визначення впливу кільцевих дек на основні показники робочого процесу експериментального подрібнювача проведені дослідження шляхом реалізації повного факторного експерименту по матриці плану 3^2 . Як фактори обрано такі: x_1 - швидкість молотків V_m (інтервал 60,0 м/с; 67,0 м/с; 74,0 м/с); x_2 - кільцеві деки (відсутні, гладкі, рифлені).

Для оцінки ефективності роботи установки використовували критерії оптимізації, що характеризують енергоємність процесу подрібнення і якість готового продукту: y_1 - питомі енерговитрати E , кВт·год /т; y_2 - пропускна здатність Q , кг/год; y_3 - ступінь подрібнення λ ; y_4 - вміст пилоподібної фракції в готовому продукті m_0 ,%. Дослідження проводилися при решеті з діаметром отворів 4 мм і номінальному завантаженні електродвигуна подрібнювача. Результати експерименту представлені в табл. 3.3. При проведенні експерименту в якості матеріалу, що подрібнюється використаний ячмінь з еквівалентним діаметром зернівки 4,5 мм і вологістю 12-14%.

За результатами експерименту розраховано коефіцієнти регресії, а також отримані математичні моделі залежності критеріїв оптимізації від досліджуваних факторів:

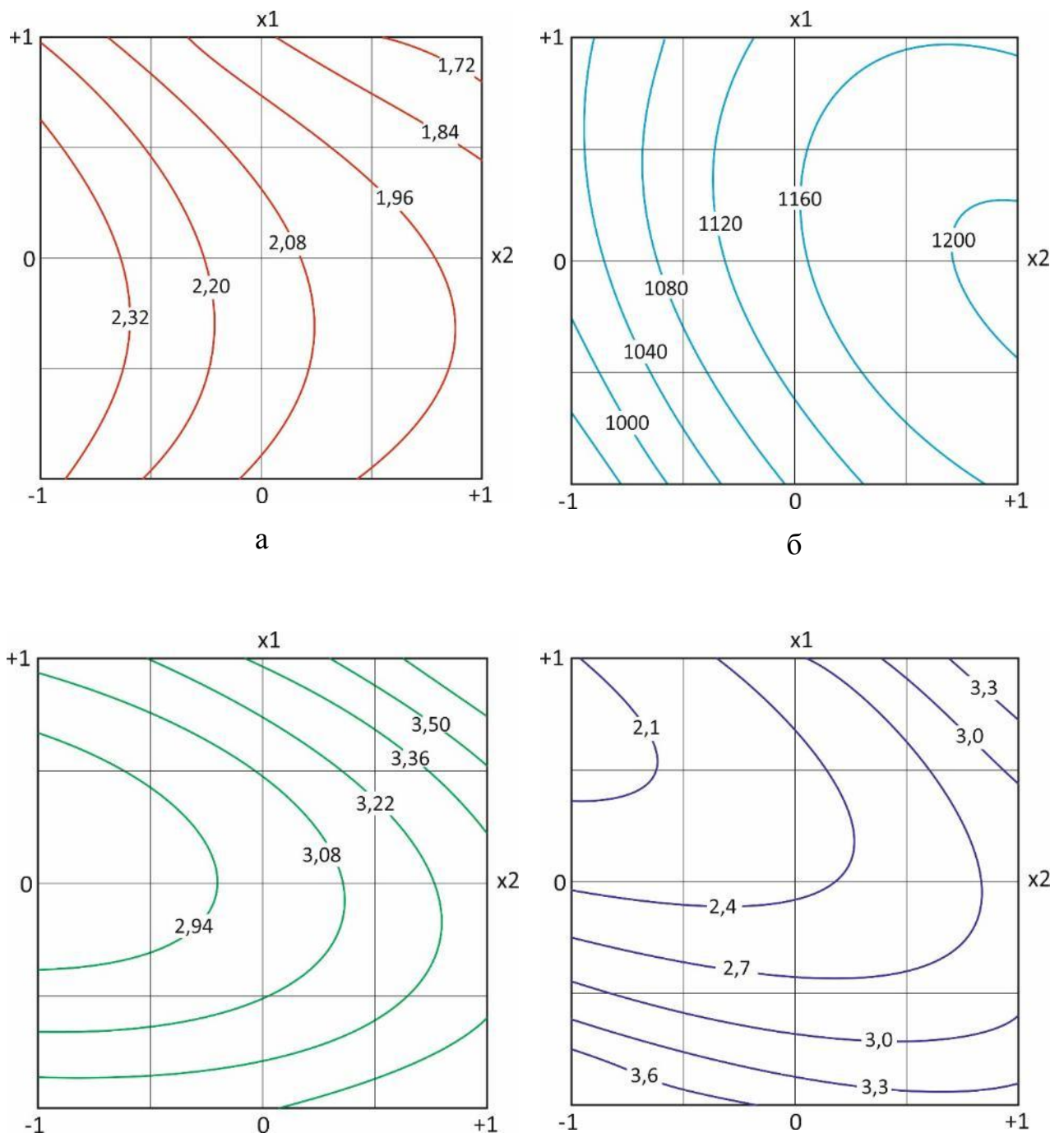
$$E = 2,127 - 0,247x_1 - 0,095x_2 + 0,053x_1^2 - 0,012x_1x_2 - 0,157x_2^2; \quad (3.10)$$

$$Q = 1155 + 91x_1 + 23x_2 - 42x_1^2 - 28x_1x_2 - 41x_2^2; \quad (3.11)$$

$$\lambda = 2,98 + 0,23x_1 + 0,02x_2 + 0,08x_1^2 + 0,12x_1x_2 + 0,35x_2^2; \quad (3.12)$$

$$m_0 = 2,36 + 0,20x_1 - 0,42x_2 + 0,21x_1^2 + 0,52x_1x_2 + 0,66x_2^2. \quad (3.13)$$

За отриманими моделям регресії побудовані двовимірні перерізи поверхонь відгуку (рис. 3.6). З аналізу рівняння регресії (3.10) і двовимірного перетину (малюнок 3.6, а) слідує, що основний показник, що характеризує ефективність роботи дробарки (питома енергоємність) приймає в області експерименту мінімальне значення $E = 1,67$ кВт·год/т при верхніх рівнях варіювання обох досліджуваних факторів (швидкість молотків $V_m = 67$ м / с і наявності рифлених кільцевих дек). В цьому випадку енергоємність на 11,2% менше, ніж без дек, встановлених в міжмолотковому просторі.



В

Г

Рисунок 3.6 - Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив швидкості молотків V_m (фактор x_1) і установки кільцевих дек (фактор x_2) на: а - питомі енерговитрати E ; б - пропускну здатність Q ; в - ступінь подрібнення λ ; г - вміст пилоподібної фракції в готовому продукті

Також наявність кільцевих дек в камері призводить до збільшення пропускну здатності установки з 1170 до 1200 кг/год. Аналізуючи якісний склад отриманої дерті, слід зазначити, що при установці рифлених кільцевих дек коефіцієнт варіації, характеризує однорідність готового продукту, збільшується до $v = 60,5\%$. Це пов'язано з тим, що відбувається незначне збільшення пилоподібної фракції m_0 с 2,3 до 4,5 %, а також зменшення залишку на ситі з діаметром отворів 3 мм - з 1,8 до 0,6 %.

За результатами експериментів можна зробити висновки, що установка кільцевих дек в міжмолотковому просторі призводить до зменшення питомих енерговитрат, збільшення пропускну здатності і ступеня подрібнення при незначному підвищенні вмісту пилоподібної фракції в готовому продукті.

3.3 Висновки

1. При установці кільцевих дек в міжмолотковому просторі камери енерговитрати на тертя повітряного потоку об робочі органи складають 6,1 ... 13,9 % від встановленої потужності електродвигуна, при наявності рифлення робочих поверхонь грудня енерговитрати зростають до 16,8 %.

2. В результаті проведених досліджень можна рекомендувати наступні значення досліджуваних факторів, при яких досягається найкращий результат роботи молоткової дробарки для подрібнення фуражного зерна: швидкість молотків $V_m = 74$ м/с, питома площа робочих органів $S_{\text{пит}} = 140,0$ м⁻¹, пази кільцевої деки $t = 4,0$ мм і діаметр отворів в решеті $d = 4,0$ мм. При таких співвідношеннях подрібнювач має питому енергоємність $E = 1,68$ кВт·год/т, пропускну

здатність $Q = 1160$ кг/год при середньозважений розмірі готового продукту $d_{\text{ср.}} = 1,29$ мм і коефіцієнті варіації гранулометричного складу готового продукту $v = 61,5$ %.

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.1 Загальні визначення та поняття

Законодавство України про охорону праці базується на конституційному праві всіх громадян України на належні, безпечні і здорові умови праці, гарантовані статтею 43 Конституції України.

Основоположним документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці» [79], «який визначає основні положення щодо реалізації права на охорону життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні».

Отже, охорона праці - це «система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності».

Згідно визначення [73], «об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру».

Щодо розроблюваного в дипломній роботі подрібнювача сипких кормів, він не відповідає умовам визначення, приведеного вище, та не являється об'єктом підвищеної загрози. Але під час роботи подрібнювача в повітрі приміщення буде концентруватися пил, що може викликати пожежу.

4.2 Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

При роботі з удосконаленим подрібнювачем на оператора можуть діяти наступні небезпечні фактори:

- при ушкодженні ізоляції електропроводників, вилки, розетки або пробою електродвигуна - ураження електричним струмом;
- при виході з ладу муфти з'єднання – ураження елементами конструкції, що розлітаються.

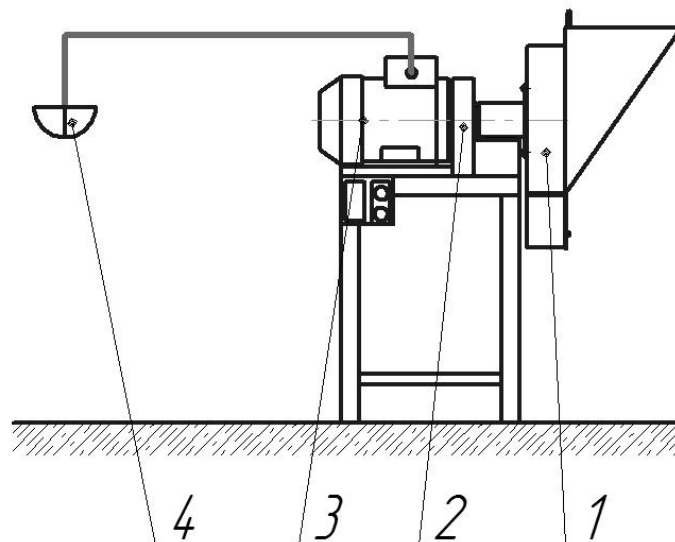


Рисунок 4.1 – Схема удосконаленого подрібнювача: 1 – подрібнювач; 2 - муфта з'єднання; 3 – електродвигун; 4 - триполюсна електрична вилка

Для запобігання приведених вище небезпечних ситуацій нами передбачено:

- облаштування захисного заземлення триполюсної розетки;
- муфту з'єднання буде закрито захисним кожухом;
- електродвигун оснащено тепловим реле, яке відключає його від мережі при критичному збільшенні температури;
- обладнати виробничу ділянку санітарно-побутовими приміщеннями, а саме душовою кабіною, санвузлом, роздягальною;
- забезпечити опалення виробничої ділянки в зимовий період;
- обладнати виробничу ділянку вогнегасником.

Крім того, з метою покращення безпеки праці, нами пропонується провести розрахунок штучного освітлення. Для штучного освітлення виробничих приміщень пропонується використати світильники ЛСП-2x18 з двома люмінесцентними лампами ЛБ-18.

Кількість світильників визначається по питомій потужності ламп на 1 м^2 площі приміщення.

$$N = \frac{Sk_3q}{Q} \quad (4.1)$$

де S – площа приміщення, $S=12 \text{ м}^2$;

q - необхідна питома потужність ламп, Вт/м^2 , $q=2,25 \text{ Вт/м}^2$;

k_3 – коефіцієнт запасу, що враховує забруднення повітря в приміщенні, ($k_3=1,1$);

Q - потужність вибраного світильника, Вт. Для ЛСП 2x18– 36 Вт.

Тоді:

$$N = \frac{12 \cdot 1,1 \cdot 2,25}{36} = 0,825 \approx 1 \text{ світильник.}$$

Так як зерно завантажують до подрібнювача вручну, приведемо граничні норми підймання і переміщення важких речей жінками:

Характер робіт	Гранично допустима вага, кг
Підймання і переміщення вантажів	10
Підймання і переміщення вантажів протягом зміни	7

Рама удосконаленого подрібнювача має металевий корпус, станина подрібнювача зафіксована на бетонній підлозі за допомогою анкерів, в роботу подрібнювач приводиться від електродвигуна живленням напругою 220 В. Для забезпечення заземлення подрібнювача для під'єднання до електромережі буде використана триполюсна електрична вилка та триполюсна розетка, яка крім ліній живлення (фаза, нуль) містить додатковий полюс, який буде з'єднано з шиною заземлення в приміщенні. Це дасть змогу захистити оператора від ураження електрострумом при пошкодженні ізоляції. Сама електропроводка має подвійну ізоляцію – загальну та кожного провідника. Крім захисного заземлення для захисту оператора від уражень електричним струмом під час аварійного замикання на землю чи корпус передбачено встановлення диференційного реле, яке спрацьовує через 0,1 с після замикання.

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

З метою захисту оператора подрібнювача від дії шкідливих та небезпечних факторів застосуємо організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів, в першу чергу, віднесемо своєчасність проведення інструктажів з охорони праці. Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці визначені «Типовим положенням про порядок проведення

навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженим наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 15 від 26.01.2005 р. Згідно вказаного положення, «вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Цей вид інструктажу проводять для всіх нових працівників. Далі, за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт, проводять первинний інструктаж на робочому місці. Через 6 місяців роботи оператора подрібнювача проводять повторний інструктаж. У випадку необхідності проводять позаплановий та цільовий інструктажі».

Технічні заходи. Захист оператора подрібнювача від травмування предметами при поломці подрібнювача забезпечує сітчаста огорожа, яка встановлена між машиною зі сторони подрібнювача і місцем де може рухатись працівник.

З метою захисту працівника від уражень електричним струмом під час аварійного замикання на корпус обладнання під час пошкодження ізоляції передбачено захисний вимикач, який спрацьовує через 0,2 сек після замикання та заземлення електродвигуна [76].

З метою захисту оператора від шуму його забезпечують спецзасобами - навушниками [77].

Для захисту оператора від підвищеної запиленості нам необхідно обрахувати продуктивність вентилятора для відведення надлишків пилу. Відповідно до [75] допустима концентрація пилу, що містить до 10 % вільної SiO_2 , дорівнює 4 мг/м^3 .

У зовнішньому повітрі, що надходить до приміщення, зовсім немає вказаного пилу ($P_0 = 0$).

Тоді

$$L = \frac{P}{P_1 - P_0} = \frac{20000}{4 - 0} = 5000 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (4.1)$$

де P – кількість пилу, що виділяється в приміщенні, за даними аналогічних виробництв $P=20$ г/год;

P_1 – допустима кількість пилу в приміщенні, мг/м³;

P_0 – вміст пилу в засмоктуваному чистому повітрі, мг/м³.

Згідно продуктивності приймаємо осьовий вентилятор ВО 06-300, продуктивністю 5200 м³/год, з монтажем в стіну приміщення.

4.4 Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна

Ці правила з охорони праці передбачає основні вимоги безпеки під час роботи на подрібнювачі зерна. До самостійної роботи на подрібнювачі допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, пройшли вступний та первинний на робочому місці інструктаж з охорони праці, навчені безпечним методам та прийомам роботи, які пройшли стажування на робочому місці, перевірку знань вимог охорони праці, а також навчання правил пожежної безпеки та перевірку знань правил пожежної безпеки в обсязі посадових обов'язків; навчання правил електробезпеки та перевірку знань правил електробезпеки в обсязі посадових обов'язків із присвоєнням групи допуску не нижче II.

Перевірити справність спецодягу, спецвзуття та інших ЗІЗ на відсутність зовнішніх пошкоджень. Спецодяг повинен бути відповідного розміру, чистим і не обмежувати рухів. Одягти спецодяг та ЗІЗ, що відповідають виконуваній роботі. Спецодяг повинен бути застібнутий, не допускаються звисаючі кінці. Волосся прибрати під головний убір. Забороняється заколювати спецодяг шпильками, голками, тримати в кишенях гострі предмети, що б'ються. Отримати завдання у безпосереднього керівника виконання робіт, за необхідності пройти інструктаж. При роботах, пов'язаних із підвищеною небезпекою, пройти цільовий інструктаж та отримати наряд-допуск. Встановити послідовність

виконання операцій. Підібрати інвентар, інструмент та пристрої, необхідні при виконанні роботи, перевірити їх відповідність вимогам безпеки, розташувати у зручному для роботи порядку. Підготувати робоче місце для безпечної роботи.

Підкорятися правилам внутрішнього трудового розпорядку, іншим документам, що регламентує питання дисципліни праці. Виконувати санітарно-гігієнічні вимоги. Правильно застосовувати спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту. Не використовувати спецодяг, просочений нафтопродуктами. Не допускати до своєї роботи ненавчених та сторонніх осіб. Під час роботи слід бути уважним, не відволікатися від виконання своїх обов'язків та не відволікати інших працівників. Працівник, який перебуває у хворобливому чи перевтомленому стані, а також під впливом алкоголю, наркотичних речовин або ліків, що притупляють увагу та реакцію, не повинен приступати до роботи, оскільки це може призвести до нещасного випадку. Під час роботи потрібно поводитися спокійно і витримано, уникати конфліктних ситуацій, які можуть спричинити нервово-емоційну напругу та позначитися на безпеці праці. Виконувати вимоги безпеки, що викладені в інструкції з експлуатації електричного подрібнювача гілок. Дотримуватись вимог, що забезпечують безпечні умови праці та нормальне ведення технологічного процесу.

По закінченні роботи очистити подрібнювач від відходів та бруду згідно з інструкцією з експлуатації. Прибрати подрібнювач у встановлене місце зберігання. При транспортуванні подрібнювача повинні вживатися запобіжні заходи, що виключають його пошкодження. При цьому необхідно керуватись вимогами технічної документації заводу-виробника. Упорядкувати робоче місце. Пристосування, інвентар прибрати в призначені їх зберігання місця. Не прибирати сміття, відходи безпосередньо руками, а користуватися щітками, совками та іншими пристроями.

У разі виникнення будь-яких неполадок, що загрожують аварією на робочому місці припинити роботу, відключити обладнання від електромережі; доповісти керівнику; діяти відповідно до отриманих вказівок. При ліквідації аварійної ситуації необхідно діяти відповідно до затвердженого плану ліквідації аварій. При виявленні несправностей обладнання, інструменту, пристроїв, а

також при виникненні інших умов, що загрожують життю та здоров'ю працівників, слід припинити роботу та повідомити про них безпосереднього керівника. У разі виникнення несправностей, зазначених у посібнику з експлуатації заводу-виробника, негайно зупинити обладнання. При виявленні на металевих частинах обладнання напруги (відчуття дії електроструму) необхідно відключити обладнання від мережі та доповісти своєму керівнику. Забороняється застосовувати воду та пінні вогнегасники для гасіння електропроводок та обладнання під напругою, оскільки піна є гарним провідником електричного струму. Для цих цілей використовуються вуглекислотні та порошкові вогнегасники.

4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях

Ознаки надзвичайної ситуації (НС): небезпека для життя і здоров'я людей, суттєве порушення екологічної безпеки, повне або часткове зупинення господарської діяльності, значні матеріально-економічні збитки.

Надзвичайні ситуації за своєю сутністю та причинами виникнення поділяють на природні, техногенні та соціальні.

В нашому випадку найбільш імовірною є **надзвичайна ситуація техногенного характеру, а саме пожежа**. У разі виникнення пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов'язаний [78]:

- «негайно повідомити про це телефоном аварійно-рятувальну службу (тел. 101). При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;

- вжити (по можливості) заходів по евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;

- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового об'єкту;

- у разі необхідності викликати інші аварійні служби (медичну, газорятувальну тощо).

Посадова особа об'єкта, що першою прибула на місце пожежі, зобов'язана:

- перевірити, чи викликана аварійно-рятувальна служба (продублювати повідомлення), довести подію до відома керівника установи;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;
- припинити роботи на об'єкті (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних із заходами по ліквідації пожежі;
- здійснити у разі необхідності відключення електроенергії, агрегатів, апаратів, водяних комунікацій (за винятком систем протипожежного захисту);
- організувати зустріч підрозділів аварійно-рятувальної служби, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху до осередку пожежі та до водних джерел».

4.6 Висновки

Спираючись на нормативну документації та згідно існуючих вимог нами проведено обстеження розробленого подрібнювача зерна, встановлена дія небезпечних та шкідливих чинників на оператора і для їх уникнення запропоновано відповідні заходи. Для розробленого подрібнювача кормів приведено правила безпечного виконання робіт та приведено порядок дій у разі виникнення надзвичайної ситуації.

5 Економічне обґрунтування удосконаленого подрібнювача зерна

5.1 Вихідні дані

Визначимо економічну ефективність застосування розробленого подрібнювача зерна. Найближчий за характеристиками аналог – молотковий подрібнювач МС 400-24, виробництва фірми «Млин-ОК», Україна. Вихідними даними до порівняння будуть технічні характеристики аналога та удосконаленого подрібнювача.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до визначення техніко-економічних показників

Показник	Варіанти	
	МС 400-24	удосконалений подрібнювач
Продуктивність, т/год.	0,8	0,92
Споживана потужність, кВт	4,0	4,0
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Тривалість зміни, год.	8,0	8,0
Строк служби, років	8	8
Коефіцієнт амортизаційних відрахувань	0,125	0,125
Коефіцієнт відрахувань на ТО та ремонт	0,14	0,12
Балансова вартість, грн.	21230	21230
Вартість переобладнання, грн.	-	8600

Ефективність розробленого подрібнювача в порівнянні з аналогом будемо оцінювати порівнюючи питомі експлуатаційні витрати.

5.2 Визначення питомих експлуатаційних витрат

Питомі експлуатаційні витрати розрахуємо за формулою

$$\Pi = \Pi_3 + \Pi_a + \Pi_r + \Pi_e, \text{ грн./т} \quad (5.1)$$

де Π_3 – питомі затрати на заробітну платню, грн./т;

Π_e – питомі затрати на електроенергію, грн./т;

Π_a – питомі амортизаційні відрахування, грн./т;

Π_r – питомі затрати на ремонт і ТО обладнання, грн./т.

Питомі затрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$\Pi_3 = \frac{n \cdot f \cdot \delta}{Q}, \text{ грн./т} \quad (5.2)$$

де n – кількість операторів, люд.

f – годинна тарифна ставка одного працівника, грн./год. Мінімальна заробітна плата. З початку 2021 року складає у місячному розмірі – 6500 грн., у погодинному розмірі – 39,12 грн., приймаємо $f = 39,12$ грн./год.;

$\delta = 1,22$ – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

Q – продуктивність подрібнювача, т/год (табл. 5.1).

За формулою (5.2) за варіантами маємо

базовий

$$\Pi_{3.б} = \frac{1 \cdot 39,12 \cdot 1,22}{0,8} = 59,66 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$\Pi_{3.е} = \frac{1 \cdot 39,12 \cdot 1,22}{0,92} = 51,87 \text{ грн./т}.$$

Питомі витрати на енергоресурси визначимо за формулою

$$P_e = \frac{N \cdot c_e}{Q}, \quad (5.3)$$

де N – потужність приводу подрібнювача, кВт.

$c_e = 2,05$ грн./кВт·год. – вартість електроенергії для II класу напруги до 27,5 кВ з ПДВ.

Тоді за формулою (5.6) маємо за варіантами:

базовий

$$P_{e.б} = \frac{3,0 \cdot 2,05}{0,8} = 7,68 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$P_{e.е} = \frac{3,0 \cdot 2,05}{0,92} = 6,68 \text{ грн./т}.$$

Питомі амортизаційні відрахування розраховуємо за формулою

$$P_a = \frac{\alpha \cdot B \cdot K}{Q}, \text{ грн./т} \quad (5.4)$$

де B – балансова вартість подрібнювача, грн.

α – коефіцієнт амортизаційних відрахувань (табл. 5.1).

K – коефіцієнт використання подрібнювача, який розраховують за формулою:

$$K_e = \frac{t_{фак}}{t_{пл} \cdot 365}, \quad (5.5)$$

де $t_{фак}$, $t_{пл}$ – річне фактичне та планове навантаження машини;

Приводимо коефіцієнт використання засобів механізації до 1 години при роботі в одну зміну, тобто 8 години протягом року.

$$K_6 = \frac{1}{8 \cdot 365} = 0,00034.$$

Тоді за (5.4) отримаємо за варіантами базовий

$$P_{аб} = \frac{0,125 \cdot 21230 \cdot 0,00034}{0,8} = 1,13 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$P_{ан} = \frac{0,125 \cdot 29830 \cdot 0,00034}{0,92} = 1,37 \text{ грн./т}.$$

Питомі відрахування на ремонт і технічне обслуговування техніки обчислюють за виразом

$$P_{р,то} = \frac{\beta \cdot B \cdot K}{Q}, \text{ грн./т} \quad (5.6)$$

де β – нормований коефіцієнт відрахувань на ремонт подрібнювача, %.

Тоді з (5.6) за варіантами маємо базовий

$$P_{тоб} = \frac{0,14 \cdot 21230 \cdot 0,00034}{0,8} = 1,26 \text{ грн./т};$$

розроблений

$$\Pi_{P,TOH} = \frac{0,14 \cdot 29830 \cdot 0,00034}{0,92} = 1,54 \text{ грн./т.}$$

Загальні питомі експлуатаційні витрати (5.1) за варіантом складуть:
базовий

$$\Pi_6 = 59,66 + 7,68 + 1,13 + 1,26 = 69,73 \text{ грн./т.};$$

розроблений

$$\Pi_n = 51,87 + 6,68 + 1,13 + 1,54 = 61,22 \text{ грн./т.}$$

Економія питомих експлуатаційних витрат при впровадженні розробленого експериментального подрібнювача:

$$E_e = \Pi_6 - \Pi_n = 69,73 - 61,22 = 8,51 \text{ грн./т.} \quad (5.7)$$

Строк окупності експериментального подрібнювача при його впровадженні можна визначити наступним чином:

$$T = \frac{B_e}{P \cdot E_e}, \text{ роки} \quad (5.8)$$

де P – річний об'єм робіт, т.

Визначимо річний об'єм робіт удосконаленого подрібнювача:

$$P = Q \cdot k_{63} \cdot t_{3M} \cdot D, \text{ т} \quad (5.9)$$

де $k_{вз}$ – коефіцієнт використання часу зміни, $k_{вз} = 0,8$.

$$P = 0,92 \cdot 0,8 \cdot 8 \cdot 365 = 2149,1 \text{ т.}$$

$$T = \frac{8600}{2149,1 \cdot 8,51} = 0,48 \text{ роки.}$$

5.3 Визначення питомих приведених витрат

Питомі приведені витрати розраховують за формулою

$$ПП = П + \frac{B}{P} E, \text{ грн./т} \quad (5.10)$$

де $E = 0,15$ – нормований коефіцієнт ефективності капітальних вкладень базовий

$$ПП_6 = 69,73 + \frac{21230}{2149,12} \cdot 0,15 = 71,21 \text{ грн./т;}$$

розроблений

$$ПП_6 = 61,22 + \frac{29830}{2149,12} \cdot 0,15 = 63,30 \text{ грн./т.}$$

Розрахуємо річний економічний ефект від впровадження у виробництво запропонованого нами варіанту при завантаженні на 100 відсотків

$$E = (ПП_6 - ПП_n)P = (71,21 - 63,30) \cdot 2149,1 = 16998,59 \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Всі отримані показники зведемо в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічна оцінка подрібнювача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	МС 400-24	удосконалений подрібнювач	
Продуктивність, т/год.	0,8	0,92	115,0
Споживана потужність, кВт	4,0	4,0	100,0
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100,0
Балансова вартість, грн.	21230	21230	100,0
Вартість переобладнання, грн.	-	8600	
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	69,73	61,22	87,8
в т.ч.: заробітна платня	59,66	51,87	86,9
витрати на електроенергію	7,68	6,68	87,0
амортизаційні відрахування	1,13	1,13	100,0
витрати на ТО та ремонт	1,26	1,54	122,2
Питомі приведені витрати, грн./т	102,96	86,23	83,8
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	18288,84	
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	0,48	-
Річний економічний ефект, грн.	-	16998,59	-

5.4 Висновки

Техніко-економічна оцінка удосконаленого подрібнювача показала, що в порівнянні з базовим МС 400-24 він має переваги за експлуатаційними витратами. Економія експлуатаційних витрат склала 18288,846 грн., за рахунок зменшення витрат на оплату праці та енергоресурси, строк окупності – 0,48 роки.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного огляду конструкційно-технологічних схем і наукових робіт, присвячених процесу подрібнення зерна, прийшли до висновку, що необхідні подальші дослідження, спрямовані на вдосконалення конструктивних параметрів і режимів роботи молоткового подрібнювача закритого типу. При цьому основним завданням є зниження питомої енергоємності процесу подрібнення, збільшення пропускної здатності подрібнювачів і підвищення якості готового продукту.

2. В результаті установки кільцевих дек в міжмолотковому просторі, відбудеться збільшення енерговитрат на тертя повітряного потоку об пасивні робочі органи, що говорить про створення гальмуючих умов повітряного потоку. Взаємодія повітряно-продуктового шару з кільцевими деками дозволяє зменшити колову швидкість матеріалу, що подрібнюється за рахунок загальмування повітряно-продуктового шару, що в свою чергу сприяє підвищенню відносної швидкості зіткнення молотків з частинками зерна. З урахуванням найбільшої ймовірності кута підльоту частинок β' до деки, в межах $6...13^\circ$, кут робочої грані рифа деки γ щодо торцевої стіни дробильної камери повинен складати $77...84^\circ$.

3. В результаті проведених досліджень можна рекомендувати наступні значення досліджуваних факторів, при яких досягається найкращий результат роботи молоткової дробарки для подрібнення фуражного зерна: швидкість молотків $V_m = 74$ м/с, питома площа робочих органів $S_{\text{пит}} = 140$ м², ширина пазів кільцевих дек $t = 4$ мм і діаметр отворів решета $d = 4$ мм. При таких співвідношеннях подрібнювач має питому енергоємність $E = 1,68$ кВт·год/т, пропускну здатність $Q = 1160$ кг/год при середньозважений розмірі готового продукту $d_{\text{ср.}} = 1,29$ мм і коефіцієнті варіації гранулометричного складу готового продукту $v = 61,5$ %.

4. Спираючись на нормативну документації та згідно існуючих вимог нами проведено обстеження розробленого подрібнювача зерна, встановлена дія небезпечних та шкідливих чинників на оператора і для їх уникнення запропоновано відповідні заходи. Для розробленого подрібнювача кормів приведено правила безпечного виконання робіт та приведено порядок дій у разі виникнення надзвичайної ситуації.

5. Техніко-економічна оцінка удосконаленого подрібнювача показала, що в порівнянні з базовим МС 400-24 він має переваги за експлуатаційними витратами. Економія експлуатаційних витрат склала 18288,846 грн., за рахунок зменшення витрат на оплату праці та енергоресурси, строк окупності – 0,48 роки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Макаров А. П. Исследование технологического процесса измельчения фуражного зерна в молотковых дробилках. Научн. тр. ВИЭСХ. М. : Колос, 1964. Т. XIV. С. 66 – 88.
2. Ревенко И. И. Распределение перерабатываемого материала в камере измельчителя молотковой дробилки. Тракторы и сельхозмашины. 1987. №7. С. 24 – 26.
3. Алешкин В. Р. Механизация животноводства/ В. Р. Алешкин, П.М. Роцин. - М.: Агропромиздат, 1985. - 336 с.
4. Бойко А. І., Новицький А. В. Підвищення надійності кормодробарок та подрібнювачів. Механізація сільськогосподарського виробництва. К. : НАУ, 1997. Т. III. С. 6 – 8.
5. Пилипенко О. М. Особенности разработки конструкций измельчителей и дробилок кормов. К., 1987. 73 с.
6. Мельников С. В. Динамические режимы работы молотковых кормодробилок. Записки Ленинградского с-х института. Л., 1969. Т. 143. Вып. 2. С. 3 – 8.
7. ДСТУ 4508: 2005. Комбікорми-концентрати для свиней. Технічні умови. Чинний від 01.01. 2008. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 15 с. (Інформація та документа-

- ція).
8. Ялпачик О. В. Моделювання процесів у робочій камері пальцевої зернової дробарки. Процеси і апарати харчових виробництв. К.: НУХТ, 2015. Т.1. С. 134 – 141.
 9. Егоров Б. В. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140.
 10. Клейс И. Р. Основы выбора материалов для работы в условиях абразивного изнашивания. Трение и износ. М., 1980. Т.1. №2. С. 263 – 271.
 11. Осьмак В. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для кормовиробництва. Збірник наукових праць УкрНДЛІВТ. Дослідницьке, 2009. Вип. 13. С. 259 – 261.
 12. Гвоздєв О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць ВНАУ. Вінниця, 2011. №9. С. 143 – 150.
 13. Денисов В. А. Теоретические предпосылки измельчения зерна. Механизация процессов в животноводстве и кормопроизводстве. Пермь, 1983. С. 112 – 120.

14. Новицький А. В. Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів в залежності від умов і режимів експлуатації. К. : НУБіП України, 2015. Вип. 253. С. 141 – 148.
15. Пилипенко А. Н. Устранение неравномерности износа молотков кормодробилки. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1977. №9. С. 10 – 12.
16. Машины та обладнання переробних виробництв: Навчальний посібник / за ред. О. В. Дацишин. К.: Вища освіта, 2005. 159 с.
17. Сидашенко А. И., Скобло Т. С. Анализ причин преждевременного износа и разрушения деталей машин сельскохозяйственной техники. Харьков, 2014. №1. С. 105 – 113.
18. Сыроватка В. И. Основные закономерности процесса измельчения зерна в молотковой дробилке. Электрификация сельского хозяйства. Труды ВИЭСХ, 1964. №4. С. 89 – 157.
19. Ялпачик Ф. Ю., Олексієнко В. О. Кормодробарка для сімейної ферми. АПК: наука, техника, практика. К., 1989. №3. С. 22 – 23.
20. Рожківський М. Ф. Розробка наукових

основ, створення і впровадження прогресивних технологій та комплексу машин нового покоління. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2006. Вип. 90. С. 324 – 338.

21. Кузьмінський Р. Д., Соколовський О. Р., Шеремета Р. Б. Математична модель геометричних параметрів насіння пшениці. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2014. № 18. С. 171–176.
22. Бойко А.І. До питання дослідження динаміки зношування зміцнених молотків кормодробарок графоаналітичним способом / А.І. Бойко, А.В. Новицький, В.М. Савченко // Вісн. Харківського держ. техн. ун-ту сіл. госп-ва. – 2005. – Вип. 40. – С. 339–343.
23. Ревенко І.І. Обґрунтування раціонального способу подачі перероблюваного матеріалу в дробильну камеру // Мех. і електр. с. г. – К.: Урожай, 1973. – Вип. 24. – С. 106-114.
24. Ревенко І.І. Раціональні конструктивно-технологічні ознаки молоткових подрібнювачів кормів // Вісник сільськогосподарської науки. – 1982. - №12. – С. 46-49.
25. Болоташвілі З.У. Обґрунтування технологічного процесу подрібнювання і параметрів робочих органів універсального малогабаритного подрібнювача зернових продуктів. – Автореферат дис. ... к.т.н. – Луганськ. 2000. – 17 с.

26. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов/ Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. – Л.: Колос, 1980. – 168с.
27. Патент № 3680797 (США) Мельница – Изобр. За руб., 1972. – Гр. 4. - №16.
28. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – Л.: Колос, 1978. – 560 с.
29. Нецецький Э.К. Аналіз факторів впливаючих на якість помолу зерна (в кормодробилках)/ Нецецький Э.К., Рубців П.А. // Научные труды Ставропольского СХИ. 1976. – Вып. 39. – Т.6. – С.87-90.
30. Дробарки та подрібнювачі приводні. Визначення понять, вимоги безпеки та методи випробування. ДСТУ ISO 11448: Гріфе: М-во аграрної політики України, 2005. – офіц. вид. – К.: колос, 2005. – 47 с (нормативний документ Мінагрополітики України).
31. Дробарки. Терміни та визначення. ДСТУ 2411-94. - К.: Гріфе: М-во аграрної політики України, 1994. - офіц. вид. – – 37 с. - (нормативний документ Мінагрополітики України)
32. Машини сільськогосподарські. Дробарки. Методи випробувань. ДСТУ 3218-95. - К.: М-во аграрної політики України, 1995. – офіц. вид. – 44 с. - (нормативний документ Мінагрополітики України).
33. Гогунський О.В. Обґрунтування маси "циркулюючого" шару молоткової дробарки. / Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2000. - Вип.83. - С.227 - 230.
34. Комбікорми. Терміни та визначення. ДСТУ 2421-94. - К.: М-во аграрної політики України, 1995. – офіц. вид. – 35 с. - (нормативний документ Мінагрополітики України).
35. Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений: ГОСТ 134986.8 – 72. – офіц. вид. – М.: Агропромиздат, 1972. – 18 с. - (нормативний документ Мінагрополітики України)
36. Об'єкт підвищеної небезпеки // Юридична енциклопедія : [у 6 т.] / ред.

- кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.) [та ін.] К. :, 2002. Т. 4 : Н П. 720 с.
37. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація.
 38. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила устройства электроустановок. электрооборудование специальных установок
 39. Навчальний посібник з охорони праці / Дніпропетр. держ. агр. ун-т. - Дніпропетровськ, 2009 р. - 132 с.
 40. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, від 01.12.99 р. № 42.
 41. НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні
 42. Закон України "Про охорону праці"

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

Обґрунтування конструктивних параметрів подрібнювача фуражного зерна

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МГМ-3-20
Салогуб Богдан Русланович

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

Дніпро 2021

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дипломної роботи є підвищення ефективності процесу подрібнення зерна молотковою дробаркою з кільцевими деками за рахунок обґрунтування і оптимізації конструкційно-кінематичних параметрів робочих органів дробильної камери.

Відповідно до мети поставлено такі **завдання** наукових досліджень:

- провести аналіз способів та засобів подрібнення фуражного зерна та визначити напрямки подальших досліджень;
- теоретично обґрунтувати питому площу робочих органів дробарки, їх взаємодію з повітряним потоком і подрібнюваним матеріалом;
- експериментально дослідити вплив конструктивних чинників і режимів роботи молоткової дробарки на показники процесу подрібнення;
- провести обстеження розробленого подрібнювача з точки зору охорони праці;
- провести техніко-економічне обґрунтування пропонуваного рішення.

Об'єкт дослідження - робочий процес подрібнення зерна в молотковій дробарці її конструктивні елементи камери подрібнення.

Предмет дослідження - закономірності впливу конструктивних параметрів і режимів роботи молоткової дробарки на ефективність процесу подрібнення зерна.

ОГЛЯД ІСНЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЇХ АНАЛІЗ

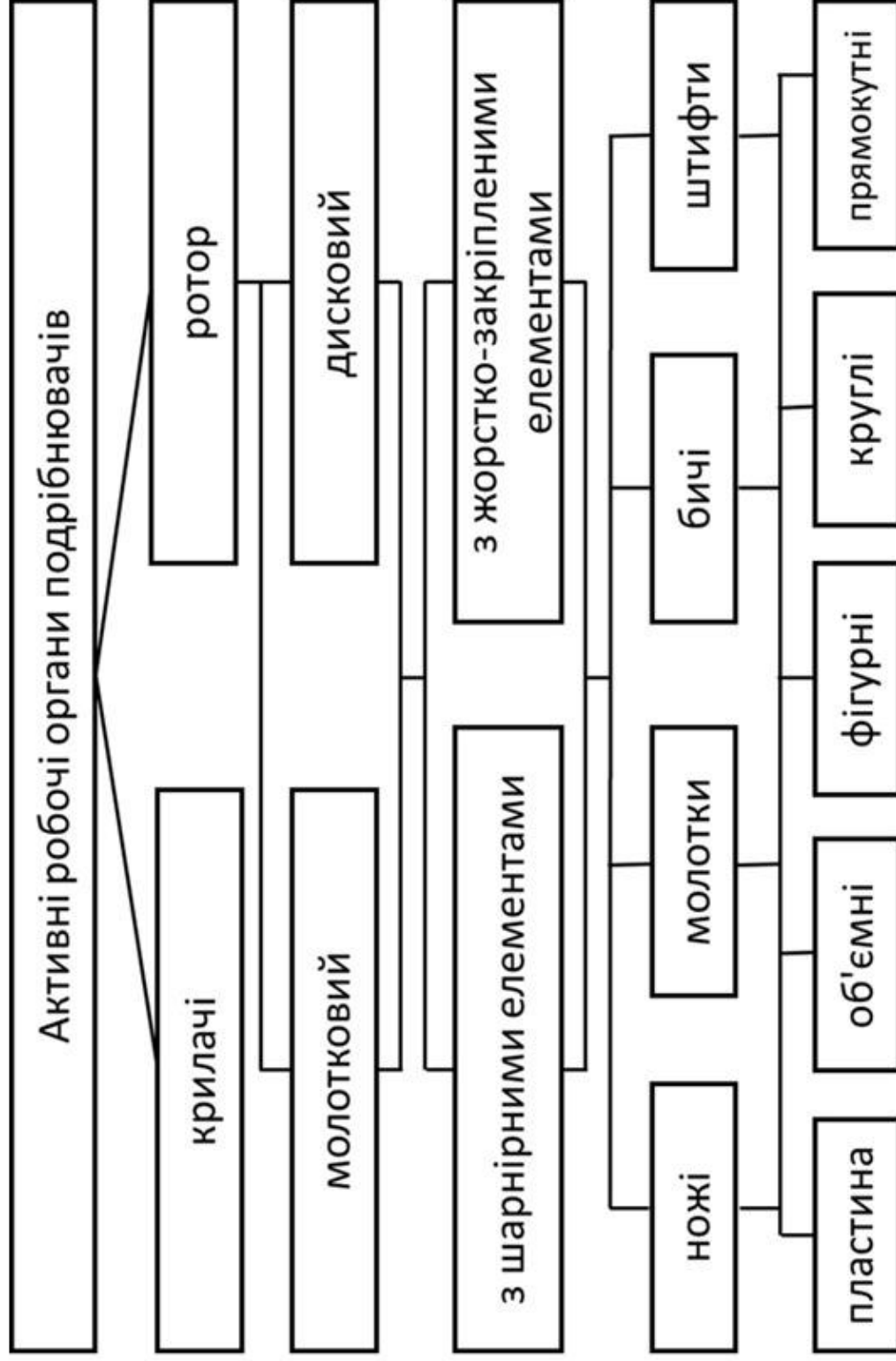


Рисунок 1 - Класифікація активних робочих органів подрібнювачів

ОГЛЯД ІСНЮЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ЇХ АНАЛІЗ

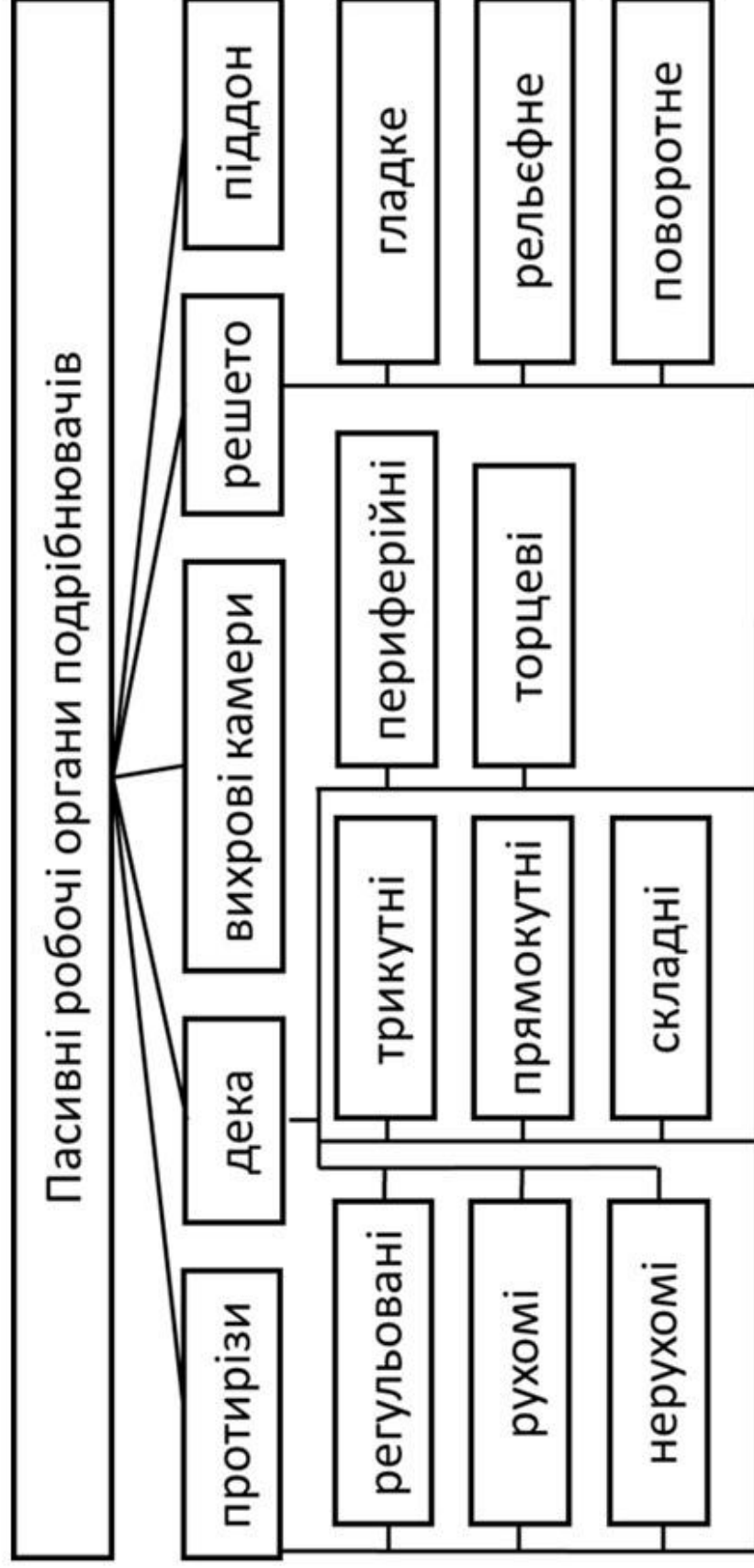


Рисунок 2 - Класифікація пасивних робочих органів

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА

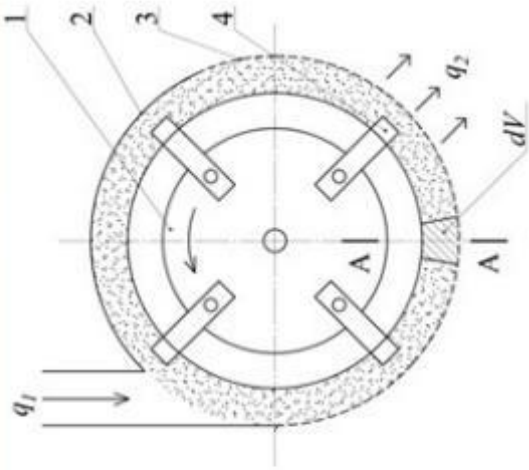


Рисунок 3 - Схема молоткового подрібнювача закритого типу: 1 - робоча камера; 2 - дека; 3 - решето; 4 - молоток

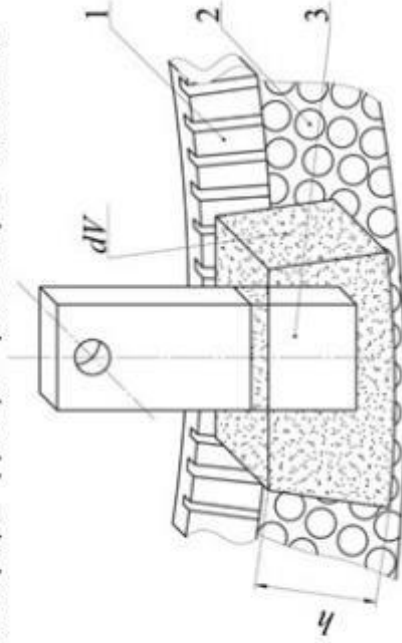


Рисунок 4 - Схема взаємодії робочих органів з матеріалом: 1 - дека; 2 - решето; 3 - молоток

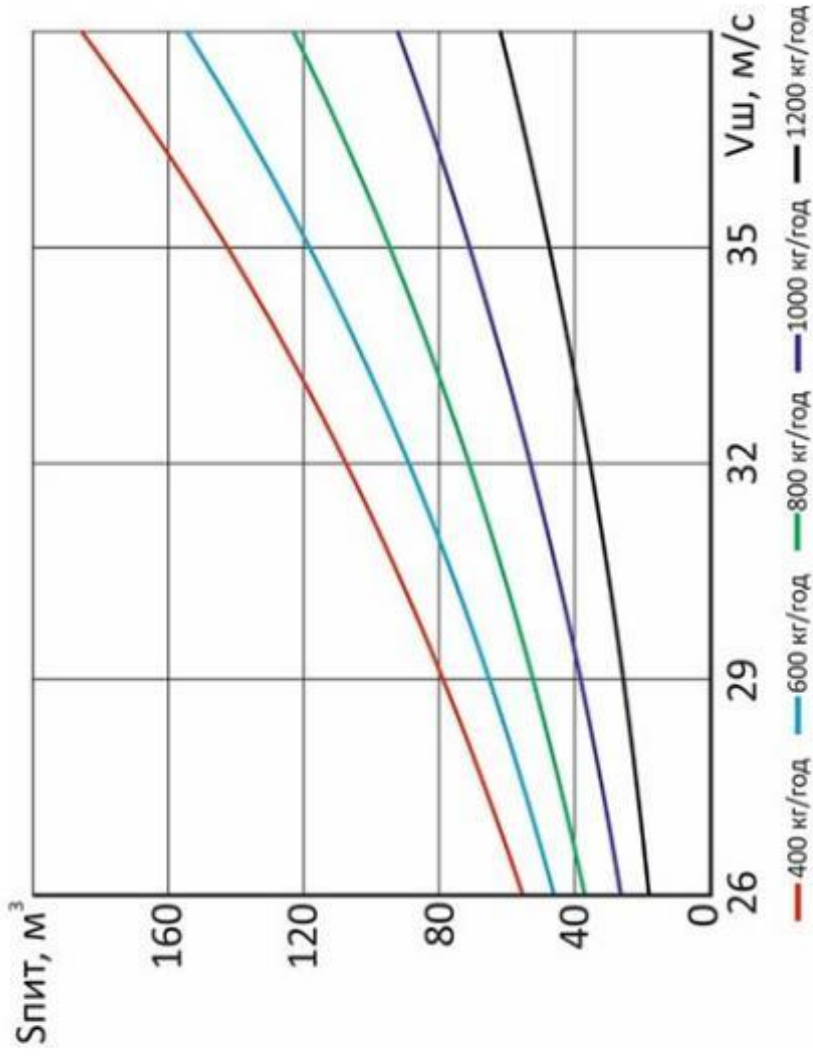


Рисунок 5 - Залежність питомої площі робочих органів $S_{\text{пит}}$ від зміни швидкості молотків і пропускної здатності

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА

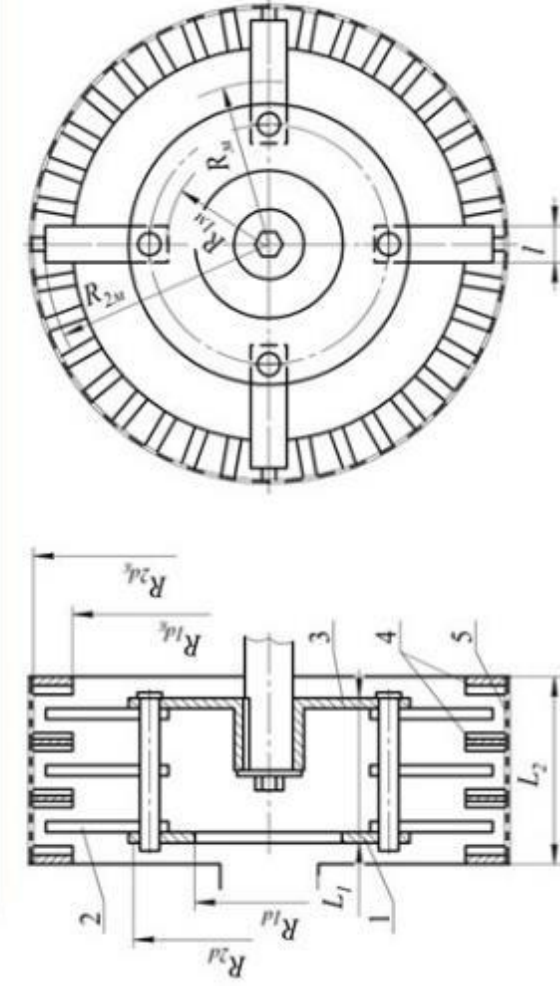


Рисунок 6 - Розрахункова схема: 1 - диск верхній; 2 - молоток; 3 - диск основний; 4 - кільцева дека; 5 - решето

$$P_{\text{пр+в}} = 6 \left[2\pi \rho \xi_{1d}^s \omega_p^3 \frac{(2R_{2d}^s - R_{1d}^s)}{5} + k L_1 \rho \xi_{2n}^s \omega_p^3 \frac{(R_{2n}^s - R_{1n}^s)}{8} + k L_2 \rho \xi_{1n}^s \omega_p^3 \frac{(R_{2d}^s - R_{1d}^s)}{8} + 2\pi \rho \xi_{2d}^s \omega_p^3 \frac{(R_{2d}^s - R_{1d}^s)}{5} \right],$$

Де ω_p - розрахункова відносна частота обертання потоку повітря, рад/с;

L_1 і L_2 - довжина молоткового ротора і камери подрібнення, м;

ξ_{1n} і ξ_{2n} - коефіцієнти опору молотків всередині основного і верхнього дисків і за їх межами.

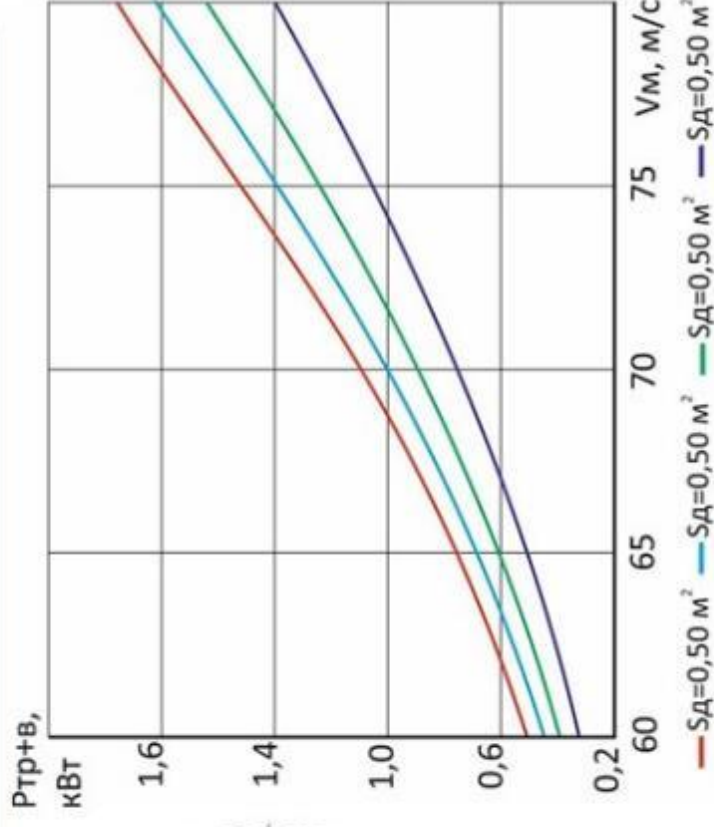


Рисунок 7 - Залежність зміни витрат потужності на тертя і вентиляцію об поверхні ро-бочих органів робочої камери від зміни швидкості молотків

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

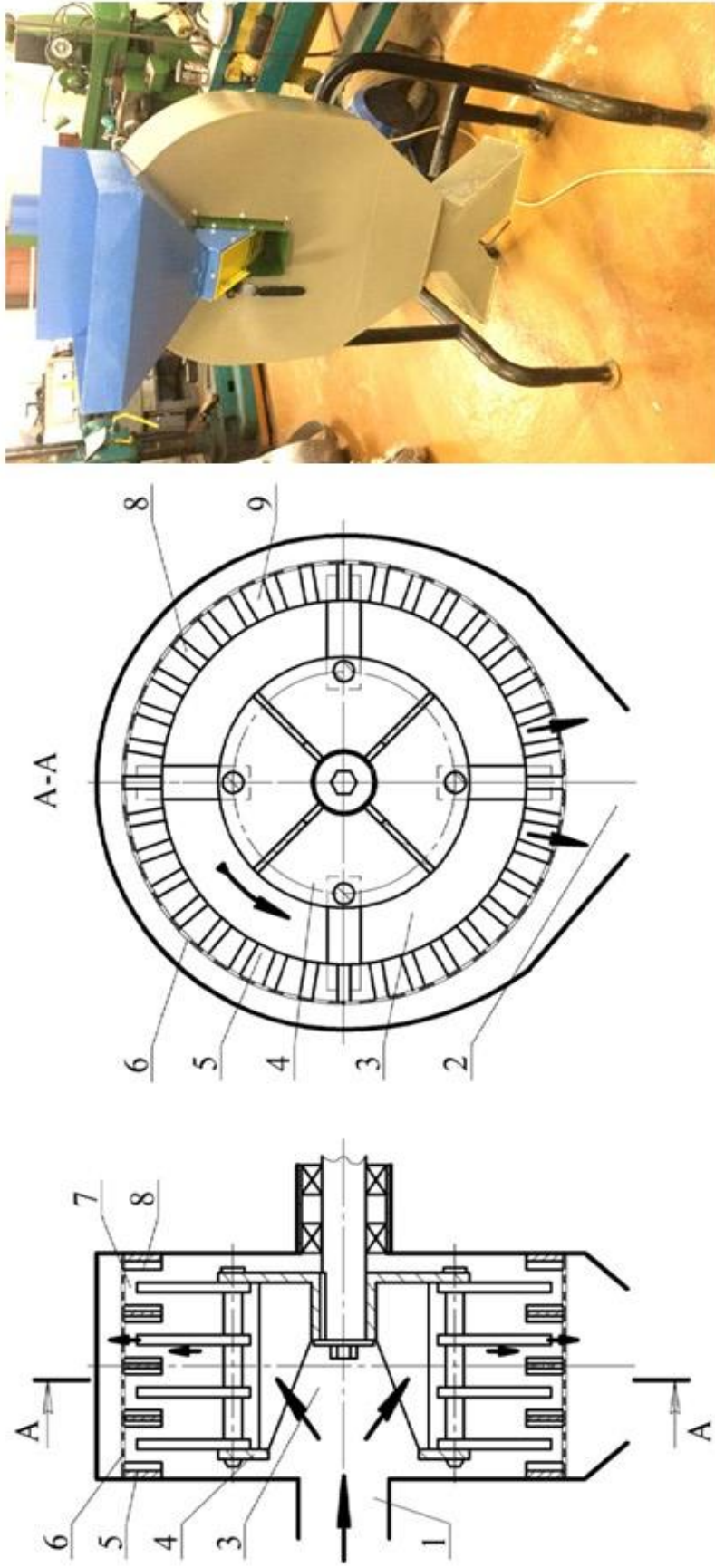


Рисунок 7 – Схема та загальний вигляд експериментального подрібнювача: 1 - завантажувальна горловина; 2 - вивантажувальний патрубок; 3 – робоча камера; 4 - молотковий ротор; 5 - дека; 6 - решето; 7 - кільцеві канали; 8 - торцеві поверхні дек; 9 - ребра рифлів дек

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

Таблиця 1 - Матриця плану 3² і результати експерименту

Позначення	Фактори			Критерій оптимізації			
	Швидкість молотків V_m м/с	Кільцеві деки	X_3	Питома енергозатрати F	Продукція Q	Ступінь подрібнення λ	Вміст пилподібної фракції m_0
Рівні факторів	X_1		X_3				
Верхній (+1)	74		20	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
нульовий (0)	67		-				
Нижній (-1)	60		5				
Дослід 1	-1		-1	2,36	935	3,25	3,85
2	0		-1	2,06	1084	3,37	3,37
3	+1		-1	1,88	1172	3,50	3,49
4	-1		0	2,42	1015	2,89	2,67
5	0		0	2,10	1168	2,95	2,29
6	+1		0	1,96	1200	3,27	2,53
7	-1		+1	1,18	1037	3,08	1,89
8	0		+1	1,90	1133	3,33	2,73
9	+1		+1	1,65	1161	3,80	3,59

ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

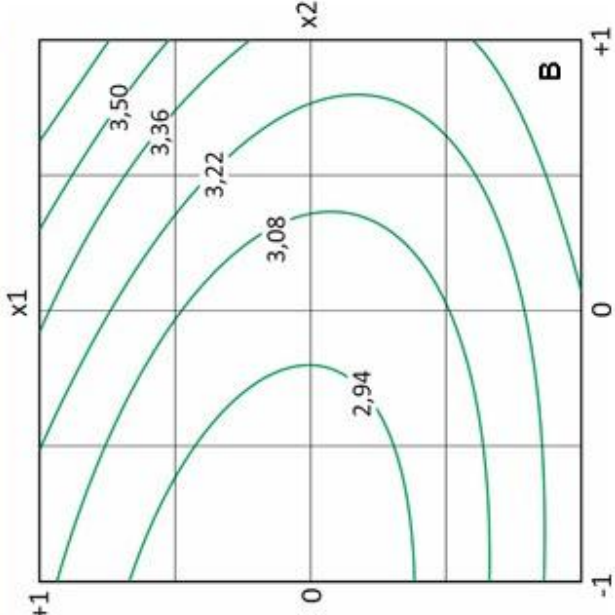
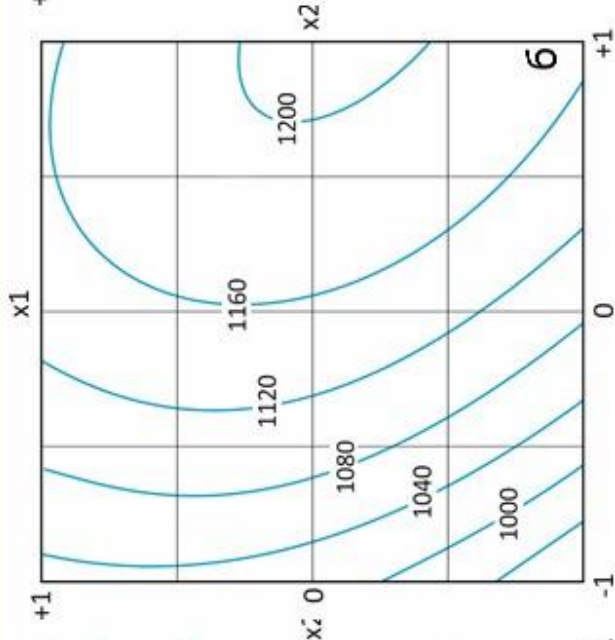
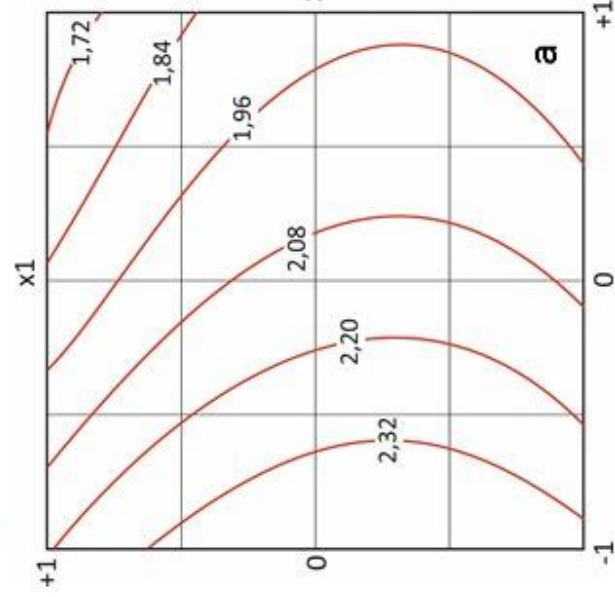
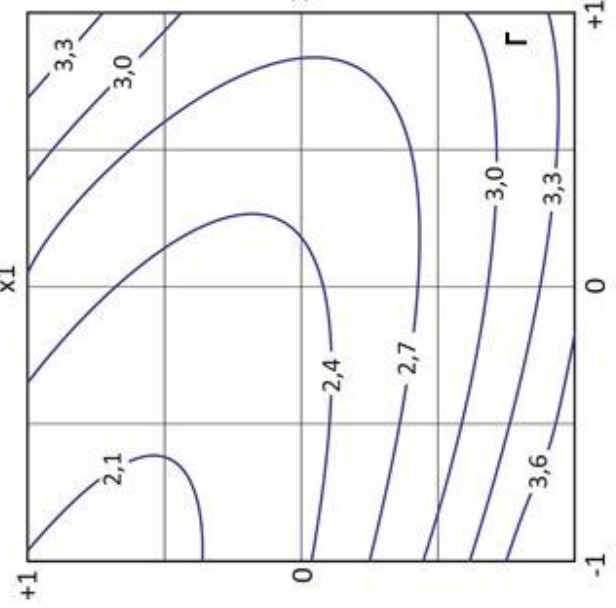


Рисунок 18 – Двовимірні перерізи поверхонь відгуку, що характеризують вплив швидкості молотків V_m (фактор x_1) і установки кільцевих дек (фактор x_2) на: а - питомі енерговитрати Е; б - пропускну здатність Q; в - ступінь подрібнення λ ; г - вміст пилоподібної фракції в готовому продукті



фактори

x_2 швидкість молотків $V_m = 74 \text{ м/с}$, питома площа робочих органів $S_{\text{плг}} = 140 \text{ м}^2$, ширина пазів кільцевих дек $t = 4 \text{ мм}$, діаметр отворів решета $d = 4 \text{ мм}$.

критерії

питома енергоємність $E = 1,68 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$, пропускна здатність $Q = 920 \text{ кг/год}$ середньозважений розмір готового продукту $d_{\text{ср}} = 1,29 \text{ мм}$, коефіцієнт варіації $v = 61,5 \%$.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

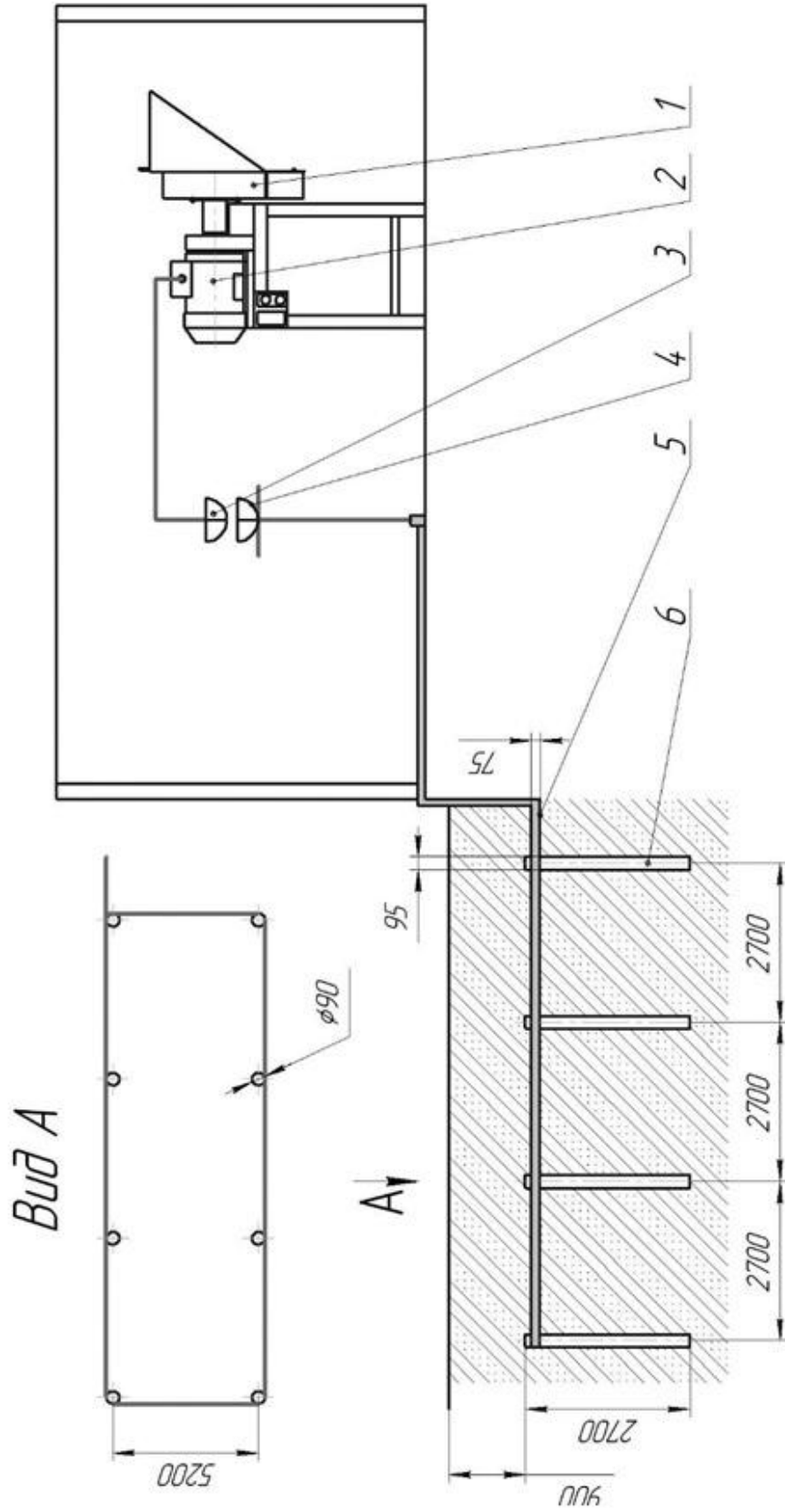


Рисунок 9 – Схема контурного захисного заземлення подрібнювача: 1 - подрібнювач; 2 – електродвигун; 3 – триполюсна електрична вилка; 4 – триполюсна розетка; 5 - горизонтальна смуга; 6 – вертикальний заземлювач

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПОДРІБНЮВАЧА КОНЦЕТРОВАНИХ КОРМІВ

Таблиця 2 – Техніко-економічна оцінка подрібнювача

Показники	Варіанти		Проектований у % до базового
	МС 400-24	удосконалений подрібнювач	
Продуктивність, т/год.	0,8	0,92	115,0
Споживана потужність, кВт	4,0	4,0	100,0
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	100,0
Балансова вартість, грн.	21230	21230	100,0
Вартість переобладнання, грн.	-	8600	-
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	69,73	61,22	87,8
в т.ч.: заробітна платня	59,66	51,87	86,9
витрати на електроенергію	7,68	6,68	87,0
амортизаційні відрахування	1,13	1,13	100,0
витрати на ТО та ремонт	1,26	1,54	122,2
Питомі приведені витрати, грн./т	102,96	86,23	83,8
Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	18288,84	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	0,48	-
Річний економічний ефект, грн.	-	16998,59	-

Строк окупності для приведених умов складе 0,48 роки, завдяки економії експлуатаційних витрат у розмірі 18288,84 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного огляду конструкційно-технологічних схем і наукових робіт, присвячених процесу подрібнення зерна, прийшли до висновку, що необхідні подальші дослідження, спрямовані на вдосконалення конструктивних параметрів і режимів роботи молоткового подрібнювача закритого типу. При цьому основним завданням є зниження питомої енергоемності процесу подрібнення, збільшення пропускної здатності подрібнювачів і підвищення якості готового продукту.
2. В результаті установки кільцевих дек в міжмолотковому просторі, відбудеться збільшення енерговитрат на тертя повітряного потоку об пасивні робочі органи, що говорить про створення гальмуючих умов повітряного потоку. Взаємодія повітряно-продуктового шару з кільцевими деками дозволяє зменшити колову швидкість матеріалу, що подрібнюється за рахунок загальмування повітряно-продуктового шару, що в свою чергу сприяє підвищенню відносної швидкості зіткнення молотків з частинками зерна. З урахуванням найбільшої ймовірності кута підльоту частинок β' до деки, в межах $6...13^\circ$, кут робочої грані рифа деки у щодо торцевої стіни дробильної камери повинен складати $77...84^\circ$.
3. В результаті проведених досліджень можна рекомендувати наступні значення досліджуваних факторів, при яких досягається найкращий результат роботи молоткової дробарки для подрібнення фуражного зерна: швидкість молотків $V_m = 74 \text{ м/с}$, питома площа робочих органів $S_{\text{пгт}} = 140 \text{ м}^2$, ширина пазів кільцевих дек $t = 4 \text{ мм}$ і діаметр отворів решета $d = 4 \text{ мм}$. При таких співвідношеннях подрібнювач має питому енергоемність $E = 1,68 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$, пропускну здатність $Q = 1160 \text{ кг/год}$ при середньозваженій розмірі готового продукту $d_{\text{ср.}} = 1,29 \text{ мм}$ і коефіцієнті варіації гранулометричного складу готового продукту $v = 61,5 \%$.
4. Спираючись на нормативну документації та згідно вимог охорони праці нами проведено обстеження розробленого подрібнювача зерна, встановлена дія небезпечних та шкідливих факторів на оператора і для їх уникнення запропоновано відповідні заходи. Для розробленого подрібнювача кормів приведено правила безпечного виконання робіт та приведено по-рядок дій у разі виникнення надзвичайної ситуації.
5. Техніко-економічна оцінка удосконаленого подрібнювача показала, що в порівнянні з базовим МС 400-24 він має переваги за експлуатаційними витратами. Економія експлуатаційних витрат склала 18288,846 грн., за рахунок зменшення витрат на оплату праці та енергоресурси, строк окупності – 0,48 роки.

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

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ

**ІНЖИНІРИНГ АГРОПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА**

Всеукраїнська студентська науково-практична конференція

Дніпро, 2021

УДК 631:62-5

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

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

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

Адреса оргкомітету:

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

© ДДАЕУ, 2021

© Автори публікацій, 2021

Хоменко Т. А. МЕТОДИКА ОБГРУНТУВАННЯ ПРОГРАМИ ПІДПРИЄМСТВА З ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	33
Бабич А.С. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХУ МИЙНОГО РОЗЧИНУ ПО МОЛОКОПРОВІДНІЙ ЛІНІЇ ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ	36
Буйницький О.І. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕСТЕРА ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВОК	39
Геймур О.С. ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ СТІЙЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ БОКСОВОГО УТРИМАННЯ ВРХ	42
Панасенко В.А. АНАЛІЗ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СЕПАРАЦІЇ РІДКОГО ГНОЮ НА ФРАКЦІЇ	45
Пащенко А.О. ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ	48
Похиленко Р.В. АНАЛІЗ ТЕПЛООБМІННИХ АПАРАТІВ ПРОТОЧНОЇ ДІЇ	51
Теліпко В.М. МЕТОДИКА ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ КОРМОРОЗДАВАЧА	54
Потапов М.В. ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ СИПКИХ КОРМІВ	57
Салогуб Б.Р. КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ ЗЕРНА	60
Сажарський В.С. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РІДКОЇ ГОДІВЛІ СВИНЕЙ	63

УДК 631.363.21

КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ ЗЕРНА

Салогуб Б.Р.

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

Відсутність класифікаційних підходів до оцінки великої різноманітності конструкцій робочих органів дробарок фуражного зерна ускладнює вибір напрямків їх вдосконалення відповідно до сучасних вимог до техніки нового покоління.

Технологічний результат подрібнення залежить від конструктивного виконання і кінематичних режимів робочих елементів, їх взаємодії з матеріалом, організації руху повітряно-продуктового потоку. За участі в технологічному процесі робочі органи дробарок можна розділити на активні (рис. 1) і пасивні (рис. 2).

До активних (ударних) слід віднести такі елементи робочої камери, за рахунок яких відбувається підведення енергії до матеріалу (удар), що подрібнюють. Ця енергія витрачається на руйнування частинки і на надання їй швидкості. Відскакуючи від активного робочого органу, частка прагне покинути зону його дії і в результаті зустрічає на своєму шляху пасивний (нерухомий) робочий орган - решето, деку, вихрові камери, протиризу, колосники.

За способом кріплення активні робочі органи поділяють на дві категорії: жорстко-закріплені і шарнірно підвішені на роторі ударні елементи (молотки, ножі, біла, штифти). У практиці для подрібнення зерна використовуються різні поєднання ознак пасивних робочих органів (протиризу, деку, вихрові камери, решето, колосники).

~



Рисунок 1 - Класифікація активних робочих органів подрібнювачів

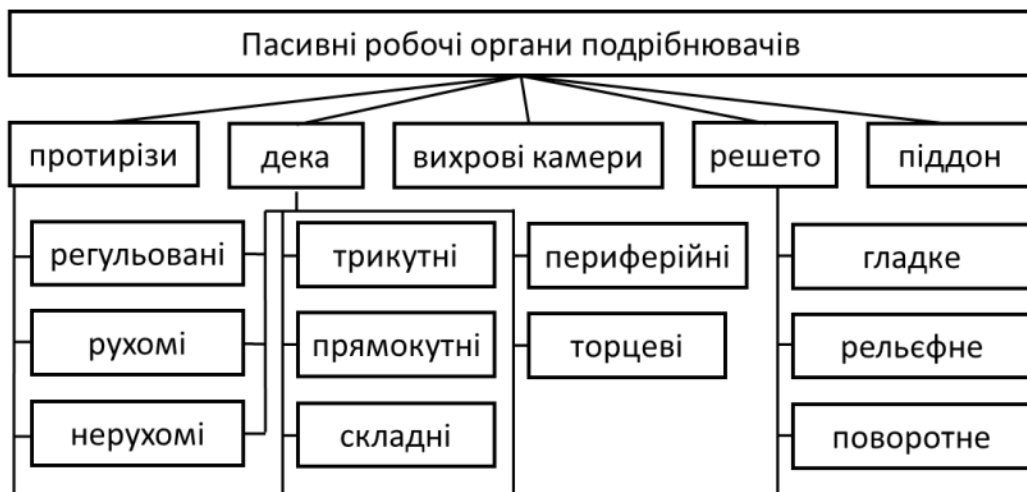


Рисунок 2 - Класифікація пасивних робочих органів подрібнювачів

Дробарки закритого типу подрібнюють матеріал по колу робочої камери, утвореної в більшості решетом і декою. Тривале перебування продукту в камері подрібнення, що приводить до переподрібнення кормової дерті, є наслідком багаторазового ударно-втираючого впливу робочих органів на матеріал.

Робочий процес молоткових дробарок вдосконалюється шляхом підвищення ефективності впливу робочих органів на матеріал, що подрібнюється і прискореного відводу готового продукту з камери подрібнення. При цьому інтенсифікація процесу руйнування зернових культур можлива за рахунок максимального використання підведеної енергії первинних ударів по зерну активними елементами і вторинних ударів матеріалу по пасивним робочим органам.

Список використаних джерел:

1. Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Дробарка прямого удару з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення. Техніка і технологія АПК : науково-виробничий журнал. К., 2011. №12 (27). С. 7 – 10.

2. Єгоров Б. В., Давиденко Т. М. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140.