

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний аграрний університет  
Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:  
Заст. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Труханська О.О.  
08 листопада\_2021 р.

**«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ  
ОРґАНІВ КОМБІНОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ»**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи АІ-20-Маг(з)  
Загоруйко Владислав Іванович

Керівник: к.т.н., доцент  
Будяк Руслан Володимирович

## РЕФЕРАТ

Загоруйко Владислав Іванович. Обґрунтування конструктивних параметрів робочих органів комбінованого подрібнювача кормів. Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 208 – Агроінженерія.

Перетворення і розвиток сільського господарства належить тваринницькій галузі і комбикормовій промисловості.

Аграрний сектор має великий вплив на інтереси кожної людини, його розвиток у значній мірі визначає потенціал і політичну обстановку в країні. Забезпечення продовольством населення має важливі відношення для зросту соціальної стабілізації країни і завжди було стратегічним завданням внутрішньої та зовнішньої політики нашої держави.

Рівень розвитку тваринницької галузі залежить від створення ферм і тваринницьких комплексів, заселення їх тваринами, створення кормової бази, вибору системи годівлі тварин і способів їх утримання, організації виконання робіт та ін.

Збільшення рівня механізації процесів у тваринництві і якості готових кормових сумішей та виробництві кормових компонентів є важливим завданням.

Необхідним здійсненням поставлених задач є розробка нових і удосконалення традиційних технологій та засобів механізації, які дозволяють збільшити продуктивність праці та понизити собівартість продукції тваринництва.

В першу чергу це відноситься до приготування кормів, підготовкою кормів до згодовування тваринами.

Приготування кормів та виробництво кормових компонентів є одним з найважливіших технологічних процесів в тваринницькій галузі сільського господарства. Основною операцією в приготуванні кормової суміші є подрібнення компонентів.

Ефективне, доброякісне подрібнення кормових компонентів є найважливішою умовою правильного годування тварин. Суміш кормів, яка

відповідає зоотехнічним вимогам з визначеним гранулометричним складом, має кращу засвоюваність і поїдаємість, дозволяє раціонально використовувати кормову сировину.

**Актуальність теми.** Приготування кормів є одним із найважливіших технологічних процесів в тваринництві. Основною операцією у виробництві кормів є подрібнення кормових компонентів суміші. На її частку доводиться від 50 до 70% від всієї витрачаємої енергії.

Ефективне подрібнення кормових компонентів одна з важливих умов правильного годування тварин. Відповідно до зоотехнічних вимог кормова суміш має кращу засвоюваність і дозволяє раціонально використовувати кормову сировину.

Якість концкормів, перш за все передбачає однорідний гранулометричний склад, відсутність недоподрібненої та зменшення пилоподібної фракцій. Дані параметри дозволяють досконало виконувати робочі процеси, які виникають в подрібнюючих машинах.

Тому, удосконалення технологічного процесу подрібнення різноманітних компонентів кормової суміші, покращення якості подрібнення та зменшення питомих енерговитрат є основою актуальності теми.

**Мета і задачі досліджень.** Мета роботи – забезпечення необхідної якості та зменшення енерговитрати у процесі подрібнення різних видів кормових компонентів завдяки використанню універсального подрібнювача кормів, розробленого на основі сукупності явищ механічної дії системи ножів на окремі види кормів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати сучасні технологічні процеси подрібнення кормових компонентів та механічні засоби, які використовуються для виконання даного процесу, з'ясувати недоліки існуючих подрібнюючих робочих органів;

- обґрунтувати конструкцію комбінованого подрібнювача кормових компонентів;

- на основі теоретичних досліджень розкрити сукупність явищ комбінованої механічної дії на корми різних видів, визначити його раціональні конструкційні параметри та режими роботи;

- дослідити експериментально вплив фізико-механічних властивостей кормів та конструкційних параметрів комбінованого подрібнювача кормів на якість подрібнення;

- провести порівняльну оцінку роботи комбінованого (універсального) подрібнювача кормів і серійних машин за агротехнічними і енергетичними показниками;

- розробити методику технологічного проектування та розрахунку пропонуємого подрібнювача;

- визначити техніко-економічну ефективність застосування комбінованого подрібнювача в порівнянні із серійно випускаємими та впровадити його у виробництво.

**Об'єкт досліджень** – процес подрібнення кормових компонентів та комбінований подрібнювач.

**Предмет досліджень** – вплив характеристик кормових компонентів і конструкційно-технологічних параметрів комбінованого подрібнювача на якість подрібнення.

**Методи досліджень.** Для проведення теоретичних досліджень застосовувались методи теоретичної механіки та математики. Експериментальні дослідження проводились у лабораторних та виробничих умовах відповідно до обґрунтованої методики і стандартів із використанням теорії планування багатофакторного експерименту. Опрацювання результатів експериментальних досліджень відбувались на ПК з використанням розроблених і стандартних програм обробки статистичних даних, регресивного і кореляційного аналізу.

## ЗМІСТ

.....	стор
<b>РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ</b>	
<b>ДОСЛІДЖЕНЬ</b> .....	8
1.1. Аналіз конструкцій подрібнювачів кормів.....	8
1.1.1 Аналіз конструкції подрібнювачів зернових кормів .....	11
1.1.2. Аналіз конструкції подрібнювачів грубих кормів .....	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.3</b>	
1.1.2. Аналіз конструкції універсальних подрібнювачів кормів ...	<b>Ошибка!</b>
<b>Закладка не определена.5</b>	
1.2. Постановка задач досліджень .....	27
1.3. Висновки по першому розділу .....	29
<b>РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО</b>	
<b>ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ</b> .....	30
2.1. Обґрунтування конструкції пропонуємого подрібнювача .....	30
2.2. Обґрунтування математичної моделі процесу подрібнення кормів..	31
2.2.1 Дослідження руху подрібненої частинки корму. ....	31
2.2.2 Розрахунок швидкості руху частинки подрібненого корму. ....	33
2.3 Теоретичне ґрунтування елементів конструкції подрібнювача. ....	39
<b>РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ</b>	
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ</b>	
<b>КОМБІНОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ</b> .....	44
3.1. Програма досліджень.....	44
3.2. Методика теоретичних досліджень.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.44</b>
3.3. Фактори впливаючі нна процес подрібнення .....	46
3.4. результати експериментальних досліджень роботи подрібнювача...	52
<b>РОЗДІЛ 4 СТАРТАП РОЗРОБКИ</b> .....	58
4.1. Будова та робота комбінованого подрібнювача кормів.....	58
4.2. Розрахунок клинопасової передачі приводу подрібнювача.....	60

4.3. Розрахунок економічної ефективності впровадження розробки .....	63
ВИСНОВКИ .....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	70

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Аналіз конструкцій подрібнювачів кормів

Подрібнювачі кормів поділяють за принципом роботи, конструктивними та аеродинамічними особливостями, розміщенню місця завантаження, способу відведення подрібненого матеріалу.

Технологічні схеми роботи подрібнювачів кормів наводимо на рисунку 1.1.

Рисунок 1.1-Технологічні схеми роботи пристроїв для подрібнення кормів

Подрібнювачами кормів здійснюють крупне, середнє і дрібне подрібнення. Для досягнення потрібної якості подрібнення матеріалу і ступеня подрібнення процес відбувається в декілька стадій: подріблення і сепарації на кондиційну і некондиційну фракції.

Технологічні схеми подрібнювачів кормів останніми роками розробляють у напрямі зниження енерговитрат, поліпшення якості (рівномірності) подрібнення і повної механізації завантаження та розвантаження подрібнених кормів, включаючи грубі та малозернисті.

Поділяють подрібнювачі по робочим органам: з пасивними – ножовими; активними – сегментними; ротаційними робочими органами.

Подрібнення використовується з метою поліпшення смакових якостей кормів, запобігання втратам при згодовуванні і підвищення можливостей більш точного дозування під час роздавання кормової суміші.

Проблема ефективного подрібнення кормових компонентів залишається актуальною, тобто якість подрібнення, ефективність його

використання в кормових сумішах, зменшення витрат енергії на подрібнення кормів та універсальність подрібнювачів.

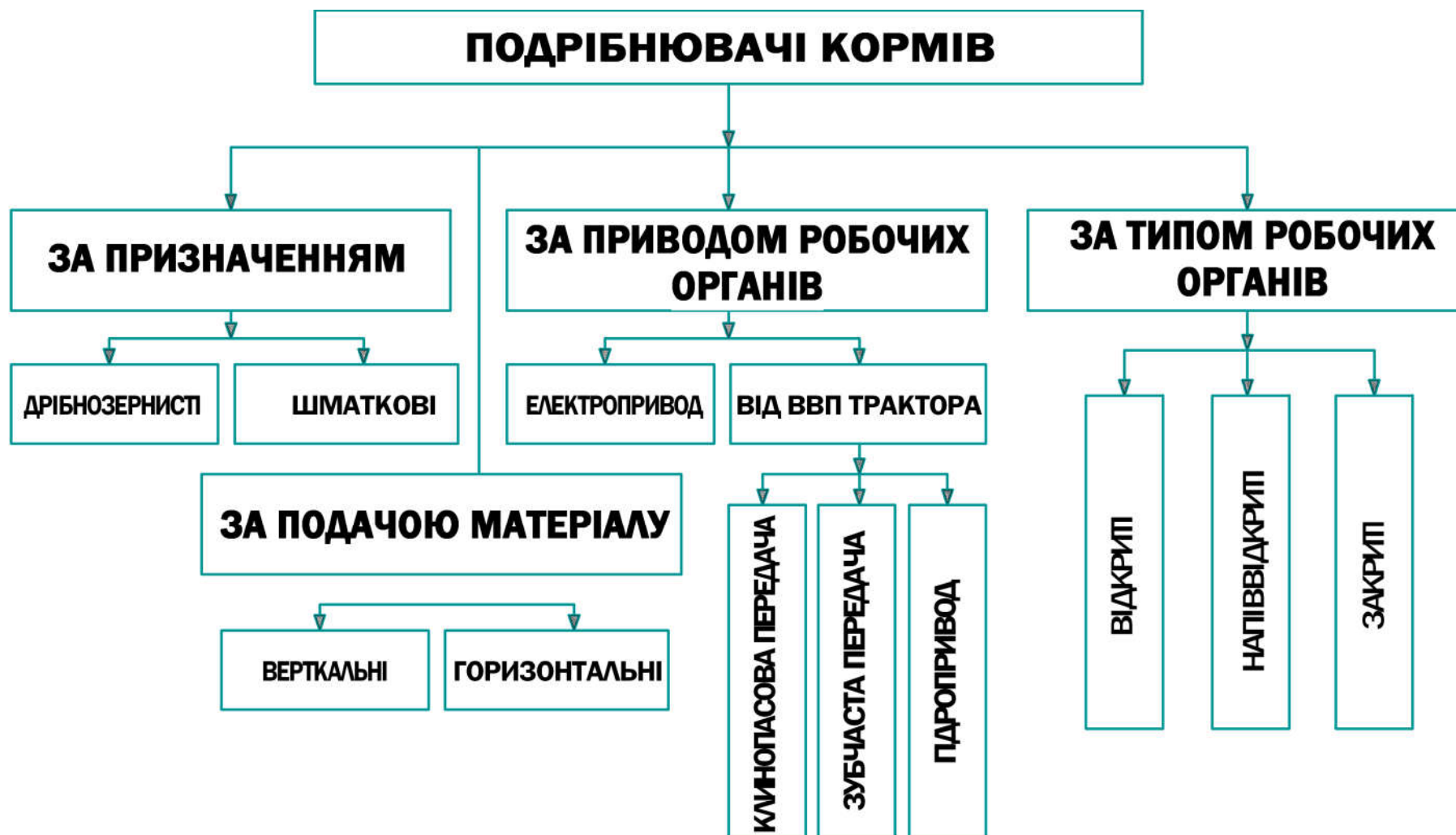
Зменшити витрати затрат енергії за рахунок підвищення якості подрібнення та універсальності машин - найважливіша народногосподарська програма.

Існуючі класифікації мають односторонній характер, у зв'язку з великим числом параметрів і конструктивних особливостей.

Найбільш відома класифікація, в якій подрібнювачі кормів поділяться за способом організації робочого процесу в подрібнюючій камері [2, 3]. Розрізняють подрібнювачі відкритого і закритого типів [4, 5, 19]. У подрібнювачів відкритого типу матеріал відводиться з камери подрібнення, не проходячи коло дробильної камери. У подрібнювачах закритого типу матеріал здійснює багатократний круговий рух.

Класифікують подрібнювачі кормів по різним ознакам, які наводимо на рисунку 1.2.





*Рисунок 1.2–Класифікація подріднювачів кормів*

### 1.1.1 Аналіз конструкції подрібнювачів зернових кормів

Вид кормів у подрібнюючій камері подрібнюється до необхідного ступеня подрібнення, після чого подрібнений матеріал видаляється. При виконанні даного процесу утворюється велика кількість пилоподібних частинок, наявність циркулюючого навантаження в камері подрібнення збільшує енерговитрати. Структурна схема процесу такої дробарки наведена на рисунку 1.1-а, і називається схемою з відкритим циклом.

Переваги подрібнюючого процесу дробарки з рециркуляцією (рисунок 1.1-б,) в порівнянні з дробаркою, яка працює по відкритому циклу, полягає в подрібнювальній камері де немає решет і обладнана сепаратором.

Недоліки технологічного процесу наведений на рисунку 1.1-в. Подаючий і недоподрібнений матеріал надходять в подрібнюючу камеру по черзі за рахунок накопичувальної ємкості рециркулята. Недоліком такої схеми подрібнення є порушення безперервності технологічного процесу.

Схема, яка наведена на рисунку 1.1-г, дає можливість не змішувати початковий і недоподрібнений продукти в подрібнюючій камері, за рахунок розділення подрібнюючої камери на ряд паралельних секцій; а також використання декількох незалежних сепараторів.

Розроблені дробарки розрізняються між собою за принципом роботи, технологічною схемою. Вони діляться на решетні, універсальні і безрешетні (з рециркуляцією і без рециркуляції).

На рисунках 1.2 – 1.17 наведені схеми молоткових дробарок із сепараторами, які використовуються в різних галузях харчовий і сільськогосподарської промисловостях.

1 – Бункер; 2 – дозуюча заслонка; 3 – подрібнююча камера; 4 – трубопровод; 5 – перфорована пластина; 6 – розвантажувальний шнек.

Рисунок 1.3 – Схема подрібнювача ДБ – 5

У молотковому подрібнювачі ДБ – 5 розміщена роздільна камера у вигляді перфорованої пластини, при допомозі якої здійснюється розділення готового (подрібненого) матеріалу і некондиційного продукту.

У молотковому подрібнювачі (рисунок 1.4) повітряно – продуктова суміш надходить на обертові решета, велика фракція відбирається на доподрібнення, а дрібна - проходить через решето всередину.

Молотковий подрібнювач (рисунок 1.5), підвищує пропускну здатність та ліквідує переподрібнення продукту за рахунок поліпшення умов вихрової камери у вихідній горловині [24].

1 – Приймальний патрубок; 2 – подрібнююча камера; 3 – обертаюче решето; 4 – циклон; 5 – патрубок повернення повітря.

Рисунок 1.4 – Схема пристрою для подрібнення кормів з обертальним решетом

1 – Приймальний патрубок; 2 – подрібнююча камера; 3 – вихрова камера; 4 – патрубок виходу готового продукту.

Рисунок 1.5 – Схема пристрою для подрібнення кормів з вихровою камерою

В дробарки (рисунок 1.6) розміщується подільник серповидної форми в камері подрібнення, розташованою над ротором увігнутою поверхнею, опукла поверхня подільника виконана рифленою, а увігнута - перфорованою. Ротор розміщений в нижній частині подрібнюючої камери ексцентрично до неї, а порожнина подільника, для відділення легко – продуктового шару, сполучена патрубком з циклоном. Ексцентрично розташованим ротором та подільником з перфорованою і рифленою поверхнями утворюється більш рівний гранулометричний склад готового подрібненого матеріалу.

1 – Приймальний патрубок; 2 – подільник; 3 – пневмопровод; 4 – циклон; 5 – подрібнююча камера.

Рисунок 1.6-Схема подрібнювача з подільником

1 – Решето; 2 – ротор; 3 – подрібнююча камера; 4 – пневмопровод; 5 – циклон.

Рисунок 1.7-Схема подрібнювача кормів з решетом всередині ротора

У молотковому подрібнювачі (рисунок 1.8) використовується циліндричне решето, яке змонтоване всередині молоткового ротора. Відведення дрібних подрібнених частинок відбувається повітряним потоком, який створюється вентилятором циклону. Для збільшення пропускної здатності та покращення якості готового продукту встановлені деки і решета всередині подрібнюючої камери.

1 – Бункер; 2 – подрібнююча камера; 3 – трубопровод; 4 – крильчатка; 5 – осадна камера; 6 – заслонка.

Рисунок 1.8 – Схема пристрою для подрібнення кормів з осадною камерою

В подрібнювачі кормів (рисунок 1.8) подрібнений матеріал по нагнітальному трубопроводу подається в осадну камеру, на вході камери розміщений відбивний екран у вигляді крильчатки, яка обертається під дією повітряного потоку на її лопаті. При цьому подрібнений матеріал, отримує додаткову кінетичну енергію та відкидається в задню частину камери подрібнення, поворотною заслонкою розсікається на дві частини і осідає. Володіючи невеликою кінетичною енергією дрібні подрібнені частинки осідають в зоні розвантажувального пристрою, а більші - прямують на доподрібнення в подрібнюючу камеру. Задану величину подрібнення встановлюють поворотом заслонки. Даний пристрій для подрібнення забезпечує підвищення ефективності процесу розділення матеріалу за рахунок самоочищуючої лопатевої крильчатки та виконує функцію відбивного екрану, при зіткненні з якої відбувається розбивання злипших частинок.

1 – Бункер; 2 – подрібнююча камера; 3 – пневмопровод; 4 – решето; 5 – шнек виведення готового продукту.

Рисунок 1.9 – Схема подрібнювача кормів з обертальним циліндричним решетом

Подрібнювач кормів, який показаний на схемі (рисунок 1.9), здійснює розподіл подрібнюючого матеріалу на фракції також на обертовому циліндричному решеті, великі фракції відбиваються і по патрубку повернення поступають на доподрібнення, а мілкі проходять через бічну поверхню решета і виводяться шнеком, який одночасно і очищає перфорацію циліндра, виключаючи її залипання.

Робочий процес в подрібнювачі із жалюзійним розподільником подрібненого матеріалу протікає так: подрібнений матеріал з пневмопровода надходить разом з повітрям у розподільник. Мілка фракція повітряним потоком подається між створками жалюзі і осідає в камері подрібненого матеріалу. Велика фракція, яка має велику кінетичну енергію повертається в подрібнюючу камеру.

1 – Приймальний бункер; 2 – дозуюча заслонка; 3 – подрібнююча камера; 4 – жалюзійний відділювач мілкої фракції; 5 – пневмопровод; 6 – вивантажувальний шнек.

Рисунок 1.10 – Схема подрібнювача з жалюзійним відділювачем готового продукту

В подрібнювачі кормів (рисунок 1.11) мілкі подрібнені частинки просіюються через зазори між елементами деки і потрапляють у розвантажувальний шнек.

1 – Приймальний бункер; 2 – дозуюча заслонка; 3 – подрібнююча камера; 4 – жалюзійна решітка з поворотними створками; 5 – фільтр для скидання надлишкового тиску; 6 – розвантажувальний шнек; 7 – елементи деки.

Рисунок 1.11 – Схема подрібнювача з жалюзійною решіткою в пневмопроводі

Решта частини подрібненого матеріалу викидається з камери в криволінійний трубопровід. Між внутрішньою стінкою трубопроводу і жалюзійною загорожую створюється надлишковий тиск. Повітря захоплює дрібні частинки і проходить через зазори між створками жалюзійних решіток, після цього повітря відводиться через фільтр назовні. Дрібні подрібнені частинки під дією сили тяжіння виділяються з легкої подрібненої суміші, поступають на розвантажувальний шнек і виводяться назовні.

У молотковому подрібнювачі (рисунок 1.12) розміщений сепаруючий пристрій типу «зигзаг». Розподілення подрібненого матеріалу на фракції відбувається при дії повітряного потоку, який поступає в сепаратор через пневмопровід з подрібнюючої камери. Процес розподілення відбувається на кожному із ступенів сепаратора. Велика фракція важча і має велику швидкість викидання, опускається по зигзагах сепаратора вниз і поступає на доподрібнення в подрібнюючу камеру. Мінка фракція подається повітряним потоком в циклон.

1 – Приймальний бункер; 2 – дозуюча заслонка; 3 – подрібнююча камера; 4 – сепаратор; 5 – пневмопровід; 6 – циклон.

Рисунок 1.12 – Схема подрібнювача кормів із сепаратором типу «зигзаг»

До недоліків конструкції подрібнювача можна віднести наступне:

- при збільшенні вологості зерна більше нормальної впливає на зменшення основних показників подрібнювача [25];

- відсутність вихрової камери в подрібнювачі збільшує питомі енергетичні затрати на подрібнення зерна [26].

1 – Бункер; 2 – заслонка; 3 – подрібнююча камера; 4 – пневмопровід; 5 – пневматичний сепаратор; 6 – перфорований ротор; 7 – канал повернення великої фракції; 8 – пневмопровід виведення готової продукції; 9 – циклон.

Рисунок 1.13 – Схема подрібнювача кормів з тангенціальною подачею матеріалу

В подрібнювачі кормів (рисунок 1.13) з подрібнюючої камери матеріал надходить по трубопроводу із повітряним потоком в розподільчу камеру пневматичного сепаратора на перфорований ротор.

Мілка фракція подрібненого матеріалу, під дією сил інерції і утворюємого ротором подрібнювача повітряного потоку проходить через решето в діаметральному напрямі і поступає в камеру готового подрібненого матеріалу, а потім відводиться шнеком.

Велика фракція, яка не пройшла через решето, надходить на повернення в подрібнюючу камеру.

1 – Приймальний бункер; 2 – подрібнююча камера; 3 – вентилятор; 4 – пневмопровод; 5 – циклон; 6 – фільтр.

Рисунок 1.14 – Схема подрібнювача кормів КДМ - 2,0

1 – Зовнішній конвеєр живильника; 2 – бункер; 3 – подрібнююча камера, 4 – пиловідділювач; 5 – дозуюча заслонка; 6 – розвантажувальний шнек; 7 – фільтр для скидання надмірного тиску

Рисунок 1.15 – Схема подрібнювача кормів ДКМ – 5

1 – Приймальний бункер; 2 – подрібнююча камера; 3 – вентилятор; 4 – циклон; 5 – пневмопровод.

Рисунок 1.16 – Схема подрібнювача зернових кормів ДКУ-1,0

1 – Приймальний патрубок; 2 – дозуюча заслонка; 3 – магнітний сепаратор; 4 – подрібнююча камера; 5 – розвантажувальний патрубок.

Рисунок 1.17 – Схеми подрібнювача А1 - ДЦП

### 1.1.2 Аналіз конструкції подрібнювачів грубих кормів

При подрібненні грубих кормів в господарствах нашої держави використовуються машини чотирьох типів подрібнюючих апаратів, які випускались до оголошення незалежності: ножеві (ИСК – 3А), шифтові (ИГК – 30), молоткові (типу ИРМ – 50) та комбіновані (Волгарь – 5).

Проведемо коротке більш досконале дослідження основних типів подрібнюючих апаратів та конструкції машин.

Подрібнювач кормів рослинних матеріалів ИРМ-50 (ТУ 105-1072-86) призначений для подрібнення зерна вологістю 25—35 %, зернових сумішей кукурудзи вологістю 35—45 % і качанів кукурудзи вологістю 35—45 %, попередньо очищених від обгорток. Машина може використовуватись для заготівлі комбінованого силосу і кормових сумішок для кормових потреб великої рогатої худоби і свиней.

Подрібнювач (рисунок 1.18) складається із рами 1, барабана 7, деків 9 у складі з нерухомими ножами, завантажувальної горловини 3, молоткових ножів 8, які розміщені на барабані 7, заслінки 4, для врегульованої подачі сировини, кришки 5, розвантажувального кормопровода 6 та електропривода 2.

1 – рама; 2 – електропривод; 3 – завантажувальна горловина; 4 – заслінка; 5 – кришка; 6 – розвантажувальний кормопровід; 7 – барабан; 8 – молоток (ніж); 9 – дека з ножами

Рисунок 1.18 – Подрібнювач ИРМ-50

Подрібнювач стеблових кормів ИРТ-165-02К (ТУ-105-3-916-84) застосовують для подрібнення кукурудзи підвищеної вологості, подрібнення сіна, соломи та інших грубих кормів, які заготовлюються в рулонах, обв'язаних шпагатом або у розсипаному вигляді з одночасним завантаженням подрібненої маси у транспортні засоби. Подрібнювач виготовляється у двох модифікаціях: ИРТ – 165 – 01 з приводом від ВВП трактора та з приводом від електродвигуна.

1 – Телескопічний вал; 2 – мультиплікатор; 3 – рама; 4 – гідропривід; 5 – місток для обслуговування персоналу; 6 – бункер; 7 – шасі; 8 – захисний щиток 9 – лебідка; 10 – похилий транспортер; 11 – щит

Рисунок 1.19 – Подрібнювач ИРТ – 165 – 01

Основними робочими органами подрібнюючого апарату даної машини є молоткові ножі 7, які розміщені на дисках 8. Для досягнення відповідної ступені подрібнення на апараті застосовується змінні решета 12.



Подрібнювач грубих кормів ИГК-30Б (рисунок 1.20) призначений для подрібнення грубих кормів у розсипному стані вологістю до 25% і застосовується на тваринницьких фермах ВРХ (великої рогатої худоби).

1 – горизонтальний транспортер; 2 – похилий транспортер; 3 – штифти; 4 – нерухомий диск; 5 – дефлектор; 6 – ротор; 7 – лопаті вентилятора; 8 – електропривод; 9 – отвір для випадання важких включень

Рисунок 1.20 – Конструктивно-функціональна схема подрібнювача ИГК-30Б

### 1.1.3 Аналіз конструкції універсальних подрібнювачів кормів

Подрібнювач кормів КДУ-2-1 «Українка» (ТУ 105-3-205-76) призначена для подрібнення грубих кормів, качанів кукурудзи, макухових шротів і зерна. Подрібнювач застосовується у млинах, кормоцехах і кормоприготувальних відділеннях на тваринницьких фермах. Подрібнювач складається з подрібнюючої камери з дробильним барабаном молоткового типу і вентилятором; циклона з шлюзовим затвором, прямим і зворотним трубопроводами; подрібнювального пристрою з різальним барабаном, транспортерним живильником, зерновим бункером і муфтою граничного моменту; електропривода з шафою керування.

Схема подрібнювача наведена на рисунку 1.21.

а—сипких; б — сухих несипких; 1 — бункер; 2 — дробильний барабан; 3 — вентилятор; 4 — циклон; 5 — шлюзовий затвор; 6 — розтруб; 7 — фільтрувальний рукав; 8 — заслінка; 9 — різальний барабан; 10 — похилий транспортер; 11 — горизонтальний транспортер

Рисунок 1.21 – Функціональна схема дробарки КДУ-2 при подрібненні різних видів кормів

Подрібнювач кормів ИКВ-Ф-5А «Волгарь-5» (ТУ 105-1-1211-87) є універсальною машиною і призначений для рівномірного подрібнення попередньо очищених коренебульбоплодів, кукурудзи з качанами у стадії

молочно-воскової стиглості, силосу, трави та інших кормів для великої рогатої худоби, свиней.

Подрібнювач (рисунок 1.22) складається з корпусу, подаючого 8 і прижимного 3 транспортерів, різального барабана 2, апаратів первинного та другорядного 10 подрібнювача з автоматом виключення 11, шнека 1, механізму керування 4 транспортерами, електродвигуна з електрообладнанням.

1 – шнек; 2 – різальний барабан; 3,8 – прижимний і подаючий транспортери; 4 – механізм керування транспортерами; 5 – натяжний пристрій ланцюгової передачі редуктора; 6 – натяжний пристрій ланцюгової передачі подаючого транспортера; 7 – притисний пристрій ланцюгової передачі подаючого транспортера; 9 – натяжний пристрій подаючого транспортера; 10 – апарат другорядного подрібнення; 11 – автомат відключення.

Рисунок 1.22 – Подрібнювач „Волгарь – 5”

## 1.2 Постановка задач досліджень

Вивчення публікацій в різний час робіт, які присвячених теоретичним і експериментальним дослідженням робочого процесу подрібнювачів кормів, показує, що для приготування кормів найбільшого поширення набули комбіновані (універсальні) подрібнювачі, здатні подрібнювати різноманітні кормові компоненти. Недоліком їх є великі енергозатрати та низька якість подрібненого матеріалу.

Недостатність дослідження даних технологічних схем подрібнення є стримуючим фактором для широкої реалізації перспективних схем подрібнення.

Тому існуючі подрібнювачі мають великі витрати енергії і низьку якість подрібнення.

Аналіз також показує, що застосування окремих подрібнювачів для різних видів кормів є негативне (велике) використання енергії, високу металоємність та високу вартість машин в цілому.

Підвищення ефективності процесу подрібнення різних компонентів кормових культур однією машиною є актуальним завданням.

Метою даних досліджень є підвищення ефективності роботи комбінованого подрібнювача кормів шляхом вдосконалення технологічної схеми, що дозволяє за рахунок універсальності подрібнюючих робочих органів отримувати якісні корми з мінімальними енерговитратами.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз подрібнювачів кормів і визначити можливість вдосконалення робочого процесу за рахунок установки комбінованих робочих органів;

- теоретично обґрунтувати вплив швидкості частинок подрібнюючого матеріалу кормового компоненту при ударі об решітку, кута повороту створки і витрати на силу удару;

- теоретично визначити швидкість подрібнених частинок в кільцевому просторі;

- визначити енергетичні і якісні показники процесу подрібнення різних видів кормових компонентів;

- виявити ефективність роботи комбінованих робочих органів пропонуємого подрібнювача кормів.

### 1.3 Висновки по першому розділу

По результатам виконаного першого розділу можна зробити наступні висновки:

Наведений аналіз конструкцій різних типів подрібнювачів кормів (подрібнювачі зернових, грубих кормів та універсальні подрібнювачі).

Розроблена постановка задач на розробку дипломної роботи.

Наведені відповідні схеми та рисунки.

## РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО  
ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ

## 2.1. Обґрунтування конструкції пропонуємого подрібнювача

Провівши аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів кормів виявлені наступні основні недоліки:

- при подрібненні грубих кормів штифтовими та молотковими подрібнювачами з підвищеною вологістю грубих кормів стебла втрачають свої властивості ломитись і важко піддаються розриву. При цьому продуктивність подрібнювачів зменшується на 0.3 т/год., а енергоємність процесу подрібнення збільшується;

- енергоємність та металоємність існуючих подрібнюючих машин значно велика;

- в існуючих конструкціях машин для подрібнення різних видів кормів непередбачено завантаження матеріалу механічним способом (транспортером, навантажувачем), тому операцію навантаження проводять вручну, що збільшує затрати праці та виключає можливість їх використання в автоматизованих лініях обробки кормів (ИГК – 30Б, „Волгарь – 5”; КДУ – 2; ДКМ – 5).

Виявивши основні недоліки існуючих машин для подрібнення різних видів кормів виникає проблема: спроектувати комбінований (універсальний) подрібнювач, який можна використовувати в автоматизованих лініях обробки кормових компонентів; використання даних подрібнюючих машини при подрібненні кормів підвищеної вологості; необхідність зменшення енергоємності та металоємності машини за рахунок вирішення конструктивних проблем.

## 2.2 Обґрунтування математичної моделі процесу подрібнення кормів

### 2.2.1 Дослідження руху подрібненої частинки корму

Рухи подрібненої частинки корму в камері подрібнювача розглядалося по таким етапам:

1. Рух по подрібнюючому елементі.
2. Рух при вильоті частинки з подрібнюючого елемента.

При розрахунках зробимо припущення, що швидкість повітря і швидкість частинки, що входить з пневмопровода подрібнювача, рівні. На рухому уздовж подрібнюючого елемента частинку корму діють відцентрова сила інерції, сила інерції Коріоліса та нормальна сила  $N$ .

Рисунок 2.1 – Сили, діючі на частинку подрібнюваного корму

Відцентрова силу інерції  $F_u$  можна визначити за формулою [27]:

$$F_u = m\omega^2 r, \quad (2.1)$$

де  $m$  - вага частинки корму, кг;

$\omega$  - кутова швидкість подрібнюючого органу,  $c^{-1}$ ;

$r$  - поточний радіус переміщення частинки корму, м.

Силу інерції Коріоліса  $F_k$  визначаємо за формулою:

$$F_k = 2m\omega \frac{dr}{dt}, \quad (2.2)$$

де  $\frac{dr}{dt} = g_r$  – радіальна швидкість руху частинки корму уздовж подрібнюючого елемента, м/с;

$t$  – час переміщення частинки корму, с;

Силу тертя  $F_{mp}$  частинки об поверхню подрібнюючого елемента можемо визначити по формулі:

$$F_{mp} = fN, \quad (2.3)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя частинки об поверхню подрібнюючого елемента;

Виходячи з формули 2.3, отримаємо:

$$F_{mp} = 2fm\omega \frac{dr}{dt}, \quad (2.4)$$

Рівняння динаміки відносного руху матеріальної точки буде мати вигляд:

$$\frac{d^2r}{dt^2} = \omega^2 r - 2f\omega \frac{dr}{dt}, \quad (2.5)$$

Рівняння руху частинки корму по подрібнюючому елементу:

$$r = \frac{\left(\frac{\mathcal{G}_1}{\omega} - R_1(-f - \sqrt{f^2 + 1})\right)e^{(-f + \sqrt{f^2 + 1})\omega t} + \left(R_1(-f + \sqrt{f^2 + 1}) - \frac{\mathcal{G}_1}{\omega}\right)e^{(-f - \sqrt{f^2 + 1})\omega t}}{2\sqrt{f^2 + 1}}, \quad \text{м} \quad (2.6)$$

Радіальна швидкість становить:

$$\mathcal{G}_r = \frac{dr}{dt} = \frac{\left(\frac{\mathcal{G}_1}{\omega} - R_1(-f - \sqrt{f^2 + 1})\right)(-f + \sqrt{f^2 + 1})e^{(-f + \sqrt{f^2 + 1})\omega t}}{2\sqrt{f^2 + 1}} + \frac{\left(R_1(-f + \sqrt{f^2 + 1}) - \frac{\mathcal{G}_1}{\omega}\right)(-f - \sqrt{f^2 + 1})e^{(-f - \sqrt{f^2 + 1})\omega t}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \quad \text{м/с} \quad (2.7)$$

Тангенціальну швидкість  $\mathcal{G}_\tau$ , знахлдимо за формулою:

$$\mathcal{G}_\tau = \omega r, \quad \text{м/с} \quad (2.8)$$

Із рівнянь (2.6) і (2.8) отримаємо:

$$\mathcal{G}_r = \left[ \frac{\left(\frac{\mathcal{G}_1}{\omega} - R_1(-f - \sqrt{f^2 + 1})\right)e^{(-f + \sqrt{f^2 + 1})\omega t} + \left(R_1(-f + \sqrt{f^2 + 1}) - \frac{\mathcal{G}_1}{\omega}\right)e^{(-f - \sqrt{f^2 + 1})\omega t}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \right] \omega, \quad (2.9)$$

Абсолютна швидкість  $\mathcal{G}_a$  частинки буде становити:

$$\mathcal{G}_a = \sqrt{\mathcal{G}_r^2 + \mathcal{G}_\tau^2}, \quad \text{м/с} \quad (2.10)$$

### 2.2.2 Розрахунок швидкості руху частинки подрібнюваного корму

На частинку корму, діють такі зовнішні сили: сила тяжіння  $G$ , сила інерції  $Fu$ ; сила аеродинамічного опору повітря  $F\delta$ .

Диференціальне рівняння руху набуває наступного вигляду:

$$m \frac{d\bar{u}}{dt} = \sum_{i=1}^n \bar{F}_i, \quad (2.11)$$

де  $u$  - вектор швидкості руху частинки, м/с;

$t$  - час руху частинки, с;

$n$  - кількість зовнішніх сил, які діють на частинку.

Силу опору повітря  $F_v$ , визначається за формулою:

$$\bar{F}_v = \frac{c\rho_v F_v |\bar{c}_3 - \bar{u}|(\bar{c}_3 - \bar{u})}{2} = \frac{k_\phi c \rho_v \pi d^2 |\bar{c}_3 - \bar{u}|(\bar{c}_3 - \bar{u})}{8}, \quad (2.12)$$

де  $\bar{c}_3$  – вектор швидкості руху повітряного потоку, м/с.

Визначаємо коефіцієнт аеродинамічного опору:

$$c = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{4}{\sqrt[3]{\text{Re}}} = \frac{24}{\text{Re}(1 + 0,17 \text{Re}^{2/3})}, \quad (2.13)$$

Критерій Рейнольдса становить:

$$\text{Re} = \frac{d|\bar{c}_3 - \bar{u}|}{v_v}, \quad (2.14)$$

Спроекуємо сили на осі  $X$  та  $Y$  і отримуємо систему рівнянь руху частинки корму:

$$\begin{cases} m \left( \frac{du_r}{dt} - \frac{u_\tau^2}{R} \right) = F_v^x \\ m \left( \frac{du_\tau}{dt} - \frac{u_r - u_\tau}{R} \right) = F_v^y \\ \frac{dR}{dt} = u_r \\ \frac{d\varphi}{dt} R = u_\tau \end{cases}, \quad (2.15)$$

Підставивши в систему рівнянь (2.15) вирази (2.12 – 2.14), отримуємо:

$$\begin{cases} \frac{du_r}{dt} = 18 \frac{k_\phi \rho_v}{d^2 \rho_v} (c_{3r}^{cp} - u_r) \left( 1 + 0,17 \left( \frac{d|c_{3r}^{cp} - u_r|}{v_v} \right)^{2/3} \right) v_v + \frac{u_\tau^2}{R} \\ \frac{du_\tau}{dt} = 18 \frac{k_\phi \rho_v}{d^2 \rho_v} (c_{3\tau}^{cp} - u_\tau) \left( 1 + 0,17 \left( \frac{d|c_{3\tau}^{cp} - u_\tau|}{v_v} \right)^{2/3} \right) v_v + \frac{u_r u_\tau}{R}, \\ \frac{dR}{dt} = u_r \\ \frac{d\varphi}{dt} = \frac{u_\tau}{R} \end{cases}, \quad (2.16)$$

де  $u_r$ ,  $u_\tau$  - радіальна і тангенціальна швидкості руху частинки корму, м/с;

$c_{3r}^{cp}, c_{3\tau}^{cp}$  - середні значення радіальної і тангенціальної швидкості руху повітря, м/с;

$R$  - поточний радіус руху частинки корму;

$R_3$  - радіус установки робочого елемента, м;

$\frac{d\varphi}{dt} = \omega$  - кутова швидкість обертання робочого елемента,  $c^{-1}$ ;

$\varphi$  - кут повороту робочого елемента, радіан.

Рисунок 2.2 - Трикутники швидкостей повітряного потоку і подрібнюваного матеріалу, які рухаються в кільцевому зазорі

Визначення системи рівнянь проводимо методом Рунге-Кутта. При цьому за беремо наступні початкові умови:  $t = 0$ ;  $\varphi = 0$ ;  $R = R_2$ ;  $u_r = \vartheta_r$  і  $u_\tau = \vartheta_\tau$ .

На рисунку 2.3 будемо графіки залежностей тангенціальної, радіальної  $U_r$  і абсолютної  $U_a$  швидкостей руху частинки і створками жалюзі при різних значеннях величини радіуса  $R$ .

Рисунок 2.3 - Залежність швидкості частинки корму і створками жалюзійних решіток від радіуса  $R$

Абсолютну швидкість руху частинки  $U_a$  визначаємо за формулою:

$$U_a = \sqrt{U_\tau^2 + U_r^2}, \text{ м/с} \quad (2.17)$$

Напрямок вектора швидкості руху частинки матеріалу  $U_a$  в кільцевому зазорі визначається кутом атаки  $\alpha$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_r}{U_\tau}, \quad (2.18)$$

При розгляді процесу удару рухомого потоку частинок корму об жалюзі решіток було зроблено припущення, що частинки рівномірно розподілені по швидкості  $\vartheta$  ударяються під кутом до напрямку потоку. Також допускаємо, що рух частинок в камері подрібнення сталий. При подібності швидкості повітряного потоку і матеріалу опором руху частинок з боку повітря нехтуємо.



На рисункові 2.4 наведені схеми удару потоку частинок всередині робочої камери, об нерухому жалюзійну решітку, встановлену під кутом до руху частинок корму.

Рисунок 2.4 – Схема удару потоку частинок об жалюзійну решітку

При ударі частини матеріалу відбивається, інша частина, з витратою, ковзає по поверхні решітки.

Допускаємо, що матеріал сходить із робочого органу потоком  $Q$  під кутом  $\alpha$ . Частина матеріалу  $Q_1$  відбивається від поверхні решітки під кутом  $\beta_1$ , а інша частина ковзає по поверхні ребра решітки і їх витрата за одиницю часу складе  $Q_2$ . Тоді дотримуватиметься рівність:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2.19)$$

За невеликий проміжок часу  $dt$  на решітку впливає матеріал з кількістю руху, який визначаємо за формулою [25]:

$$K = Q \cdot dt \cdot \vartheta, \quad (2.20)$$

По осі  $X$ , направленою перпендикулярно решітці, кількість руху падаючого потоку буде рівна:

$$K^* = Q \cdot dt \cdot \vartheta \cdot \cos \beta, \quad (2.21)$$

Кількість руху, потіку відбитих частинок корму по осі  $X$ , буде рівна:

$$K_1^* = Q_1 \cdot dt \cdot \vartheta_1 \cdot \cos \beta_1, \quad (2.22)$$

В результаті удару потоку зміна кількості руху по осі  $X$  буде рівна:

$$J = K + K_1^*, \quad (2.23)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$J = Q \cdot dt \cdot \vartheta \cdot \cos \beta + Q_1 \cdot dt \cdot \vartheta_1 \cdot \cos \beta_1, \quad (2.24)$$

Зміна руху потоку по напрямку осі  $X$  буде рівне ударному імпульсу:

$$J = N \cdot dt, \quad (2.25)$$

Отримуємо наступне рівняння:

$$N \cdot dt = Q \cdot dt \cdot \vartheta \cdot \cos \beta + Q_1 \cdot dt \cdot \vartheta_1 \cdot \cos \beta_1, \quad (2.26)$$

Скоротивши значення на  $dt$ , отримаємо:

$$N = Q \cdot \vartheta \cdot \cos \beta + Q_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \cos \beta_1, \quad (2.27)$$

Перетворюємо рівняння:

$$N = Q \cdot g \cdot \cos \beta \cdot \left( 1 + \frac{Q_1 \cdot g_1 \cdot \cos \beta_1}{Q \cdot g \cdot \cos \beta} \right), \quad (2.28)$$

Вводимо інші позначення:

$$\frac{Q_1}{Q} = B, \quad \frac{g_1 \cdot \cos \beta_1}{g \cdot \cos \beta} = C, \quad (2.29)$$

Коефіцієнт  $C$  є відношенням швидкості [25]. Коефіцієнт  $B$  показує кількість відбитих частинок:

В результаті отримаємо радіальну реакцію:

$$N = Q \cdot g \cdot \cos \beta \cdot (1 + B \cdot C), \quad (2.30)$$

Вираз (2.25) застосовуємо для кутів повороту  $-90 \leq \alpha \leq 90$ . Відповідно і кута  $\beta$

$$-90 \leq \beta \leq 90, \quad (2.31)$$

При куту  $\beta = 0$  відповідно виразу (3.30) сила удару буде максимальною.

Розглянемо зміну кількості руху матеріалу щодо осі  $U$ . Кількість руху падаючого потоку  $Q_1$ , щодо осі  $U$  буде рівна:

$$K = Q \cdot dt \cdot g \cdot \cos(90 - \beta), \quad (2.32)$$

Кількість руху відбитого потоку частинок  $W$  відповідно осі  $U$  буде рівним:

$$K_1^y = Q_1 \cdot dt \cdot g_1 \cdot \cos(90 - \beta_1), \quad (2.33)$$

Кількість руху ковзаючого потоку корму  $Q_n$  по поверхні відповідно осі  $U$  буде рівним:

$$K = Q_2 \cdot dt \cdot g_2 \cdot \cos(90 - \beta_2), \quad (2.34)$$

Імпульс тангенціальної сили по осі  $U$  становить:

$$J_y = F_\tau \cdot dt, \quad (2.35)$$

де  $F_\tau$  - тангенціальна сила.

Складаємо вираз зміни кількості руху частинок відповідно осі  $U$ :

$$T \cdot dt = Q \cdot dt \cdot g \cdot \cos(90 - \beta) - Q_2 \cdot dt \cdot g_2 \cdot \cos 0 - Q_1 \cdot dt \cdot g_1 \cdot \cos(90 - \beta_1), \quad (2.36)$$

Перетворивши рівняння отримаємо:

$$Q \cdot dt \cdot \sin \beta - Q_1 \cdot dt \cdot \sin \beta - Q_2 \cdot dt \cdot \sin \beta_1 = T \cdot dt, \quad (2.37)$$

Вираз (2.37) охоплює два напрямки, які пов'язані кутом тертя  $\varphi$ .

Перша частина обмежена значеннями кута  $\beta$ .

$$0 \leq \beta \leq \varphi, \quad (2.38)$$

Якщо кут падіння  $\beta$  менше кута тертя  $\varphi$ , то швидкість ковзання частинок корму  $\vartheta$  і кут відображення  $\beta_1$  рівні нулю.

Рівняння (2.37) при цьому має вигляд:

$$\begin{aligned} Q \cdot dt \cdot \vartheta \cdot \sin \beta &= T \cdot dt \\ T &= Q \cdot \vartheta \cdot dt \end{aligned}, \quad (2.39)$$

Для іншої частини, обмеженої кутом  $\varphi \leq \beta \leq 90$ , при постійності кута  $\varphi$  для всіх частинок, можна записати:

$$\begin{aligned} \vartheta_2 &= \vartheta_1 \cdot \cos(90 - \beta_1) \\ \vartheta_2 &= \vartheta_1 \cdot \sin \beta_1 \end{aligned}, \quad (2.40)$$

На підставі даного допущення вираз (2.37) для другої частини прийме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} Q \cdot dt \cdot \vartheta \cdot \sin \beta - (Q_2 \cdot dt \cdot \vartheta_2 + Q_1 \cdot dt \cdot \vartheta_2) &= T \cdot dt \\ Q \cdot dt \cdot \vartheta \cdot \sin \beta - Q \cdot dt \cdot \vartheta_2 &= T \cdot dt \\ Q \cdot dt \cdot (\vartheta \cdot \sin \beta - \vartheta_2) &= T \cdot dt \end{aligned}, \quad (2.41)$$

і скоротивши на  $dt$  отримаємо:

$$Q \cdot (\vartheta \cdot \sin \beta - \vartheta_2) = T, \quad (2.42)$$

Допустивши тангенціальну реакцію  $T$  рівну силі тертя ковзання частинок. Тоді цю силу можна визначити за формулою:

$$T = N \cdot f,$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя ковзання частинок.

Знаючи нормальну силу удару і тангенціальну силу ковзання, можна визначити абсолютну силу удару частинок корму по виразу:

$$R = \sqrt{N^2 + T^2}, \quad (2.43)$$

Підставивши значення  $N$  і  $T$  у формулу (2.16) отримуємо:

$$R = Q \cdot \sqrt{1 + 2\vartheta \cdot \cos \beta (\cos \beta \cdot \vartheta \cdot B \cdot C - \vartheta_2 \cdot \sin \beta) - \vartheta_2^2}, \quad (2.44)$$

Руйнування частинок відбуватиметься в тому випадку, якщо виконується наступне співвідношення:

$$\sigma_{кр} \leq \frac{R}{S \cdot \frac{\rho_0}{\rho}},$$

(2.45)

де  $\sigma_{кр}$  - критична руйнуюча напруга;

$S$  - сумарна площа контакту при ударі;

$\rho$  - щільність корму;

$\rho_0$  - щільність рухомого потоку.

Таким чином, сила залежить від швидкості частинок до удару, швидкості ковзання уздовж поверхні, кута повороту.

### 2.3 Теоретичне обґрунтування елементів конструкції подрібнювача

Показники роботи подрібнювача залежат від конструктивних параметрів подрібнюючого елемента (ротора), фізико – механічних характеристик матеріалу, показників режиму роботи та ступеню подрібнення. Показники ефективності подрібнювача залежат від руйнуючої швидкості, яку можна визначити за формулою:

$$V_{раз} = \sqrt{K_D \cdot \sigma_{вст} \cdot \ln\left(\frac{a}{x_1}\right) p}, \quad (2.46)$$

де  $K_D = 1,4 \dots 2,0$  – коефіцієнт пропорційності;

$\sigma_{вст}$  – границя міцності подрібнюючого матеріалу, Мпа;

$a$  – довжина подрібнюючого матеріалу, мм;

$x_1$  – розмір недеформованої частини подрібнюючого матеріалу, мм;

$p$  – об'ємна маса подрібнюючого матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

Із формули видно, що руйнівна швидкість залежить від фізико – механічних властивостей подрібнюючого матеріалу. В подрібнювачах незабезпечується умова однократного подрібнення, тому – що на даний процес впливає повітряний потік, який створюється подрібнюючим ротором, тому результат зіткнення подрібнюючого елемента із матеріалом значно менший. Врахувавши дані показники, швидкість подрібнюючих елементів визначаємо за формулою:

$$V_M = V_{раз} + V_{сл}, \text{ або } V_M = V_{раз} / (1 - \beta_{сл}),$$

(2.47)

де  $V_{сл}$  – швидкість руху повітряного потоку, м/с;

$$\beta_{сл} = V_{сл} / V_M = 0,4 \dots 0,5, \quad (2.48)$$

Із врахуванням швидкості руху повітряного потоку швидкість подрібнюючих робочих органів повина бути в 1,5...2,0 рази більша розрахункові.

Беручи до уваги ступінь подрібнення, швидкість подрібнюючих робочих органів визначають за формулою:

$$V_{роз} = \sqrt{K_3 (0,81 + 2,3lq\lambda)}, \quad (2.49)$$

де  $V_{роз}$  – руйнуюча швидкість робочих органів при багатократному їх впливу на подрібнюючий матеріал, м/с;

$K_3 = K_D \cdot \sigma_{всм} / p$  – фізико – механічні властивості подрібнюючого матеріалу;  
 $\lambda$  – ступінь подрібнення.

Кількість ударів робочих органів по подрібнюючому матеріалу для досягнення відповідного ступеню подрібнення визначаємо за формулою:

$$Z_{уд} = \lambda(\lambda - 0,445), \quad (2.50)$$

Питоме навантаження продуктивності подрібнюючого ротора визначається за формулою:

$$q' = \frac{q_P}{DL}, \quad (2.51)$$

де  $D$  – діаметр подрібнюючого ротора, м;

$L$  – довжина подрібнюючого ротора, м.

Тоді:

$$D = \sqrt{\frac{Kq}{q'}}, \quad (2.52)$$

де  $K = D/L$  – коефіцієнт пропорційності.

Подрібнюючі робочі органи розраховують на рівновагу за формулою:

$$c = (a^2 + b^2) / 6a, \quad (2.53)$$

де  $a$  – довжина подрібнюючого органу (молотка, сегменту), м;

$b$  – ширина подрібнюючого органу, м.

для робочих органів із двома отворами кріплення:

$$l = \frac{\pi}{9} R_n = \frac{4}{9} \left[ \frac{D}{2} - 1 \right], \quad (2.54)$$

звідки  $l = 0,154D$ , а  $R_n = 0,346D$ .

При цьому розміри подрібнюючих органів вибираємо відповідно до діаметра ротора, для ротора  $D < 0,4$ , значення  $l = 0,2D$ , при збільшенні  $D$  робочі органи будуть вкорочені.

Після вибору схеми розміщення подрібнюючих робочих органів визначають їх кількість за формулою:

$$Z = (L - \Delta L) K_Z / \delta, \quad (2.55)$$

де  $L$  – довжина ротора, м;

$\Delta L$  – сумарна товщина дисків, які неперекриваються робочими органами, м;

$K_Z$  – кількість робочих органів, які проходять по одному сліду ( $K_Z = 1 \dots 6$ );

$\delta$  – товщина подрібнюючих органів, м.

Масу подорібнюючого робочого органу визначаємо за формулою:

$$m_m = \left( a \cdot b - \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 \right) \delta, \quad (2.56)$$

Радіус повороту центру тяжіння робочих органів визначаємо за формулою:

$$R_M = R_n + C, \quad (2.57)$$

Відцентрова сила, яка діє на подрібнюючий робочий орган становить:

$$F_M = m_M \cdot \omega^2 R_M, \quad (2.58)$$

Потужність, яка вирачається на привод подрібнювача визначається за формулою:

$$N_{поор} = q_p \cdot \varphi \cdot D \cdot L (1 + f_{сл}) V_{отн}^2, \quad (2.59)$$

де  $q_p$  – розрахункова продуктивність, кг/с;

$\psi = z \cdot n \cdot t \cdot \pi \cdot h_{сл} \cdot p \cdot \mu / 120$  – коефіцієнт, який характеризує процес подрібнення;

$z$  – кількість подрібнюючих робочих органів, шт;

$n$  – частота обертання подрібнюючого ротора, хв<sup>-1</sup>;

$t$  – час перебування подрібнюючого матеріалу в камері подрібнення, с;

$h_{сл}$  – товщина повітряного потоку, м;

$\mu_3$  – частка маси матеріалу в подрібнюючому шарі, кг/кг;

$f_{сл}$  – опір шару матеріалу;

$V_{отн}$  – швидкість подрібнюючих органів відносно шару матеріалу, м/с.

Приблизну витрату енергії на роботу подрібнювача можна визначити за формулою:

$$N = (1,15. - 1,20)N_{подр}, \quad (2.60)$$

Розрахункову продуктивність визначають в залежності від конструктивних розмірів подрібнюючого ротора:

$$q_p = \pi DL h_{сл} \rho \mu_3 / t, \quad (2.61)$$

де  $h_{сл} = M_n / \pi DEL \rho \mu_3$  – товщина повітряного потоку, м.,

або вираз можна записати так;

$$q_p = K_{подр} DL, \quad (2.62)$$

де  $K_{подр} = \pi \cdot h_{сл} \cdot \rho \cdot \mu_3 / t$  – коефіцієнт пропорціональності, який характеризує вихід готового подрібненого продукту.

#### 2.4 Висновки по другому розділу

Обґрунтовано конструкцію пропонуємого комбінованого (універсального) подрібнювача кормів.

Відповідно обґрунтованій конструкції проектної машини створено математичну модель процесу подрібнення.

Стосовно розрахунковим формулам побудовані відповідні схеми та риснки.

## РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ  
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ КОМБІНОВАНОГО  
ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ

## 3.1. Програма досліджень

Програма лабораторних досліджень передбачає перевірку і уточнення наступних положень:

- визначення характеристик кормових матеріалів та продукту їх подрібнення (дерть, грубі корми, зелені корми);
- визначення робочого процесу комбінованого (універсального) подрібнювача кормів;
- дослідження технологічних, якісних та енергетичних показників подрібнення кормових компонентів у подрібнювачі;
- аналіз роботи комбінованого подрібнювача кормів з пропонованим подрібнюючим апаратом і вплив подрібнюючих органів на основні показники роботи машини.

## 3.2 Методика теоретичних досліджень

Методи проведення експериментів полягають у обґрунтуванні та ухваленні рішень після кожної серії дослідів. Були розроблені методики планування інженерного експерименту [5, 8].

Методом аналізу вивчення процесів прийнята математична теорія планування експерименту - метод побудови математичної моделі різних процесів, які дозволяють зменшити число дослідів. Математична модель дослідження наводиться у вигляді рівняння регресії, найчастіше першому або другому ступеню [5].

$$y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ij} x_i^2, \quad (3.1)$$

де  $y$  - вибіркова оцінка;

$x_i, x_j$  - значення факторів;



$b_0$  - вільний член, який дорівнює виходу в нульовій точці плану;

$b_i$  - коефіцієнти регресії факторів вказуючих на вплив того або іншого фактора на об'єкт вивчення;

$b_{ij}$  - коефіцієнти регресії факторів подвійної взаємодії;

$b_{ii}$  - коефіцієнти регресії факторів квадратичної взаємодії.

Постановка даного завдання дозволяє оцінити частку впливу кожного фактора та взаємодії інших факторів на критерій оптимізації дослідного процесу. Це важливо при дослідженнях сільськогосподарських машин, коли при проведенні експерименту ми обмежені в часі сезонною роботою і нестабільністю їх проведення. Крім того, під час роботи с – г машин діють різноманітні фактори, які можна пов'язати єдиною залежністю.

Запропоновано багато планів проведення експериментів, кожен з яких відповідає різним критеріям оптимальності. Використання планів вимагає їх обґрунтування, виходячи з особливостей завдання і наявних експериментальних можливостей. Використовуємо плани, які мають найменші витрати на реалізацію експерименту і забезпечують простоту розрахунків коефіцієнтів моделі. Обґрунтування дослідів, які передбачені програмою дослідів викладаємо нижче.

Плануючи експеримент вирішуємо питання про кількість повторностей дослідів вимірюваної величини. У використуемі літературі по обробці вимірювань наведено декілька методів визначення необхідної кількості повторностей.

Кількість повторностей кожного дослідів визначаємо за формулою [8]:

$$n = \frac{V^2 t^2}{p^2}, \quad (3.2)$$

де  $V$  - коефіцієнт варіації досліджуємої властивості, %;

$t$  - показник достовірності, залежний від прийнятого результату;

$P$  - показник точності досліджень %.

При технічних дослідів для знаходження залежності різних факторів відповідає вірогідність  $P = 0,7-0,9$ .

### 3.3 Фактори впливаючі на процес подрібнення

Умови подрібнення визначаються великою кількістю факторів: фізичними властивостями і концентрацією кормів, які розділяються на параметрами робочих органів. Параметрична схема процесу розподілення наведена на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Параметрична схема розподілення кормів на фракції

До вхідних параметрів подрібнювача відносимо: навантаження на одиницю площі  $q_F$  подрібнюючого елемента, характеристику окремих частинок  $k_q$ , їх концентрацію  $k_k$ , характеристику робочих органів (розміри, конструктивні особливості та ін.)  $k_p$ , частоту обертання робочого органу (подрібнювача)  $n$ , початкову швидкість корму  $g_q$ , положення робочих органів в просторі, визначене кутом повороту подрібнюючих елементів  $\alpha$ , геометричні розміри каналу  $d.D.H$ .

Секундну продуктивність визначаємо при режимі роботи установки методом відбору проб на виході подрібненого матеріалу за деякий час. Секундна пропускна здатність визначалася по формулі:

$$\Pi = \frac{m}{t}, \quad (3.3)$$

де  $m$  - маса однієї проби, кг;

$t$  - час обробки однієї проби, с.

Затрати електроенергії вимірювались лічильником.

Витрачаєма потужність на привод робочих органів подрібнювача визначається амперметром:

$$N = UI, \quad (3.4)$$

де  $U$  - напруга в мережі;;

$I$  - показники амперметра;

Кількість оборотів робочого органу визначаємо цифровим тахометром. При дослідах подрібнювача вибираємо величину оптимізації енерговитрат, і визначаємо за формулою:

$$\Xi = \frac{1000 N_{\text{подр}}}{Q \lambda},$$

(3.5)

де  $N_{\text{подр}}$  — потужність, яка витрачається на подрібнення матеріалу, кВт;

$Q$  - подача матеріалу, кг/год;

$\lambda$  - ступінь подрібнення матеріалу;

$\Xi$  - енергоємність, кВт\*год/(т\*од. ст. подр.).

Цей показник пов'язує енерговитрати на одиницю виходу готового продукту, тобто роботу і її результати. Режими роботи подрібнювача є порівняльними, не дивлячись на різний ступінь подрібнення матеріалу в тому або іншому режимі.

Використовуємо критерій, який характеризує продуктивність машини.

Продуктивність процесу  $G$ , визначаємо по формулі:

$$G = P_{\delta} + G_{\delta} = (P_{\phi} + H_c) + C_{\phi} + H_{\phi} = P + C, \quad (3.6)$$

де  $P_{\delta}$  і  $P_{\phi}$  - дійсний зміст проходжуемого продукту в суміші і витягування його робочим органом;

$C_{\delta}$  і  $C_{\phi}$  - дійсний зміст сходового продукту;

$P_{\delta} - P_{\phi} = H_n$  і  $C_{\delta} - C_{\phi} = H_c$  - недосів проходвого і сходового продукту.

Ефективність універсального подрібнювача можна оцінити по величині вилучення пріходовой фракції подрібненого матеріалу:

$$E_n = \frac{P_{\phi}}{P_{\delta}} = \frac{P - H_c}{P - H_c + H_n} = \frac{1}{1 + \frac{H_n}{P - H_c}}, \quad (3.7)$$

$$E_n = \frac{C_{\phi}}{C_{\delta}} = \frac{C - H_n}{C - H_n - H_c} = \frac{1}{1 + \frac{H_c}{C - H_n}}, \quad (3.8)$$

Загальний технологічний ефект наводимо у такому вигляді:

$$E_n = \sum W_i \frac{\varphi_{ii} - a_i}{a_{ii} - a_i}, \quad (3.9)$$

де  $W_i$  - вихід  $i$ -тої фракції подрібненого матеріалу;

$a_i$  - зміст  $i$ -го компоненту в подрібненому матеріалі (фактичне значення);

$a_{ii}$  - чистота  $i$ -того матеріалу, або показник подільності;

$\varphi_{ii}$  - чистота  $i$ -того матеріалу (наявність 1-го компоненту в  $i$ -тому матеріалі).

Наведений вираз показує відношення фактичного приросту матеріалу  $i$ -того компоненту до можливого.

$$y_1 = \left(1 - \frac{a \cdot a_1}{G \cdot b_1}\right) \cdot 100\%, \quad (3.10)$$

$$y_1 = \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{b_2}{a_2}}\right) \cdot 100\%, \quad (3.12)$$

де  $a$  - кількість подрібненого матеріалу, кг;

$a_1, a_2$  - частка подрібненого компоненту матеріалу відповідно в очищеному продукті;

Прийнята оцінка різномірності подрібнених яракцій:

$$E_i = \sum_{i=1}^n \varphi_{ij} \cdot \ln \frac{\varphi_{ij}}{1 - \varphi_{ij}} \ln \frac{\varphi_{ij}}{1 - \varphi_{ij}}, \quad (3.13)$$

де  $n$  - кількість подрібнених компонентів;

$i$ -ймовірність  $i$ -того стану  $j$ -того подрібненого компоненту.

Базуючись на понятті приросту процесу розділення компонентних частинок на  $m$  фракцій отримаємо:

$$E = q \left[ \sum_{i=1}^m W_j \sum_{i=1}^n \varphi_{ij} \ln \frac{\varphi_{ij}}{1 - \varphi_{ij}} - \sum_{i=1}^n \varphi_{0i} \ln \frac{\varphi_{0i}}{1 - \varphi_{0i}} \right], \quad (3.14)$$

де  $q$  - питома навантаження на робочу поверхню,  $\text{кг} / \text{см}^2 \cdot \text{с}$ ;

$W_j$  - вихід  $j$ -тої фракції в частках одиниці,

$\varphi_{ij}$  - стан  $j$ -того компоненту в  $j$ -тої фракції в частках одиниці;

$\varphi_{0i}$  - стан  $j$ -того компоненту подрібненої фракції;

$m$  - число подрібнених фракцій, які сформовані в кінці процесу;

$n$  - число подрібнених компонентів.

Розподілення факторів дозволяє дати кількісну оцінку ефективності.

$$E = \sum_{j=1}^m W_j \sum_{i=1}^n a_i \varphi_{ij} \ln \frac{\varphi_{ij}}{1 - \varphi_{ij}} - \sum_{i=1}^m a_i \cdot \varphi_{0i} \cdot \ln \frac{\varphi_{0i}}{1 - \varphi_{0i}}, \quad (3.15)$$

Кількість подрібненого матеріалу оцінюємо модулем подрібнення:

$$M = \frac{3,5 \cdot P_1 + 2,5 \cdot P_2 + 1,5 \cdot P_3 + 0,5 \cdot P_0}{100}, \quad (3.16)$$

де  $P_1; P_2; P_3$  - масові залишки на ситах, г;

$P_0$  - маса залишку на збірному дні, г.

Щоб отримати точніші дані про подрібнений склад матеріалу використовувався набір сит з розмірами отворів 3,0; 2,0; 1,7; 1,5; 1,2; 1,0 і дно.

$$M = \frac{3,5 \cdot P_1 + 2,5 \cdot P_2 + 1,85 \cdot P_3 + 1,6 \cdot P_4 + 1,35 \cdot P_5 + 1,1 \cdot P_6 + 0,5 \cdot P_0}{100}, \quad (3.17)$$

Оцінку однорідності подрібненого складу матеріалу здійснювали при допомозі варіаційних статистичних характеристик даного подрібненого матеріалу. Для цього розраховували середньоквадратичне відхилення розмірів частинок  $\bar{\sigma}$  і коефіцієнт варіації  $\gamma$ , що характеризують розкид частинок щодо їх середньовагового розміру.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^m (x_i - \bar{x})^2 P_i}{\sum_{i=0}^m P_i}}, \quad (3.18)$$

де  $m$  – число подрібнених фракцій;

$x_i$  – розмір середини інтервалу  $i$  - тої фракції;

$\bar{x}$  – середнє значення розміру (середньоваговий розмір частинок);

$P_i$  – залишок  $i$  - тої фракції.

Залишки визначаємо після зважування кожної подрібненої фракції.

$$P_i = \frac{m_i}{\sum m_i}, \quad (3.19)$$

де  $m_i$  – вага залишку  $i$  – тої фракції після просіювання;

$\sum m_i$  – сума залишків після просіювання.

К.к.д. (коефіцієнт корисної дії) решітки визначали позначивши вагу початкової суміші через  $m_0$  (в кг). Припустимо, що в даній суміші вага частинок менших від зазору в решітці складає  $a$  (в %). Тоді максимально можлива кількість проходу складе  $ma/100$  (в кг). Насправді кількість проходу буде менша, оскільки частина його піде зі сходом.

$$K = \frac{m_1 \cdot 100}{m_0 \cdot a / 100}, \quad (3.20)$$

Складаємо таблицю матриці планування експерименту (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Матриця планування експерименту

№ Дослід	Частота обертання об/хв	Подача, кг/с	Склад, %	Питома енергоємність, кВт/год од. ст. подр.		
				$Y_1$ Зелені корми	$Y_2$ Грубі корми	$Y_3$ зернові
	$X_1$	$X_2$	$X_4$			
(+)	5000	0,55	85			
(0)	4500	0,42	75			
(-)	4000	0,28	65			
1	-1,00000	-1,00000	0,00000	0,656	0,739	0,482
2	1,00000	-1,00000	0,00000	0,691	0,851	0,553
3	-1,00000	1,00000	0,00000	0,648	0,777	0,505
4	1,00000	1,00000	0,00000	0,656	0,787	0,511
5	0,00000	0,00000	-1,00000	0,576	0,691	0,449

6	0,00000	0,00000	-1,00000	0,561	0,673	0,437
7	0,00000	0,00000	1,00000	0,621	0,745	0,484
8	0,00000	0,00000	1,00000	0,628	0,756	0,491
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,561	0,598	0,388
10	-1,00000	0,00000	-1,00000	0,598	0,717	0,466
11	1,00000	0,00000	-1,00000	0,561	0,696	0,452
12	-1,00000	0,00000	1,00000	0,608	0,729	0,473
13	1,00000	0,00000	1,00000	0,724	0,834	0,542
14	0,00000	-1,00000	0,00000	0,689	0,816	0,533
15	0,00000	1,00000	0,00000	0,654	0,784	0,509
16	0,00000	-1,00000	0,00000	0,687	0,824	0,535
17	0,00000	1,00000	0,00000	0,659	0,695	0,451
18	0,00000	0,00000	0,00000	0,487	0,595	0,386
19	-1,00000	0,00000	0,00000	0,597	0,716	0,465
20	1,00000	0,00000	0,00000	0,612	0,734	0,477
20	1,00000	0,00000	0,00000	0,612	0,734	0,477
21	-1,00000	0,00000	0,00000	0,589	0,706	0,458
22	1,00000	0,00000	0,00000	0,629	0,789	0,512
23	0,00000	-1,00000	-1,00000	0,686	0,815	0,529
24	0,00000	1,00000	-1,00000	0,545	0,712	0,462
25	0,00000	-1,00000	1,00000	0,68	0,821	0,533
26	0,00000	1,00000	1,00000	0,715	0,836	0,543
27	0,00000	0,00000	0,00000	0,496	0,621	0,403

### 3.4 Результати експериментальних досліджень роботи подрібнювача

Оптимізуючи конструктивні параметри подрібнювача кормів були встановлені чотири фактори, які найбільш впливають на показник питомої енергоємності: частота обертання робочих органів  $n$ , подача матеріалу  $Q$ , діаметр подрібнювача  $D$ , вміст некондиційної фракції в продукті  $C$ . Вони включались в матрицю багатофакторного експерименту.

Критерії оптимізації проведення багатофакторного експерименту за вибралась показники питомих енерговитрат.

При статистичній обробці отриманих експериментальних результатів застосовувалась програма «Statistica 6.0».

Аналізуючи залежність питомої енергоємності від частоти обертання і подачі корму в (рисунок 3.2) показав, що оптимальне значення функція приймає в нижній точці графіка при частоті обертання подрібнювача 4500 об/хв і подачі матеріалу 1500 кг/год.

Зміна подачі в завантажувальній горловині встановлена заслонка.

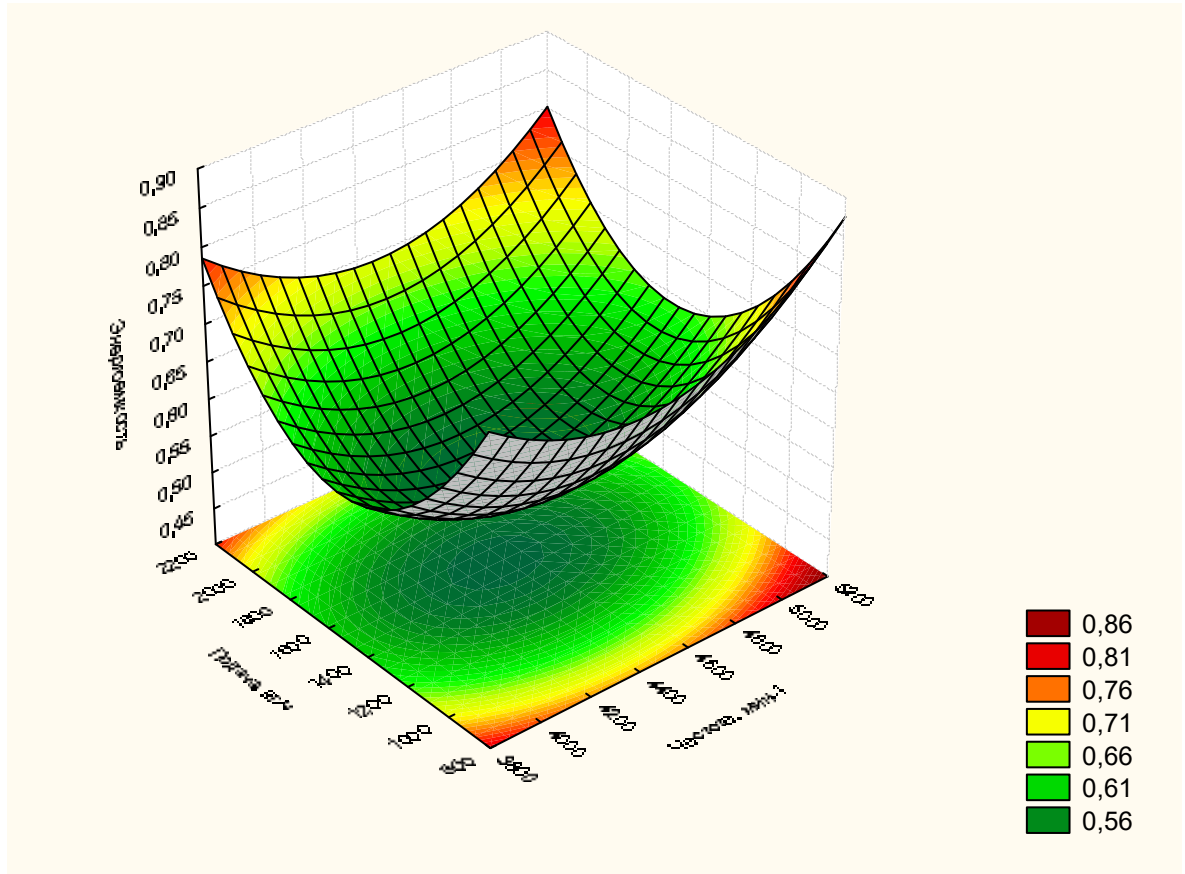


Рисунок 3.2 - Залежність ерговитрати від частоти обертання  $n$  і подачі корму

При вивченні впливу частоти обертання робочого органу на питомі енерговитрати проводилося на різних видах кормів. Графіки наведені на рисунку 3.3, показують характер залежності подрібнення різних вилів кормів. Із графіків видно, що збільшення частоти обертання подрібнювача до 4500 об/хв, веде до зниження питомих енерговитрат, подальше збільшення веде до збільшенн аеродинамічного опору повітря, що спричиняє за собою підвищення питомих енерговитрат.



Найбільш енергоємним є процес подрібнення зелених кормів. Найменші витрати енергії відбуваються при подрібненні зернових культур.

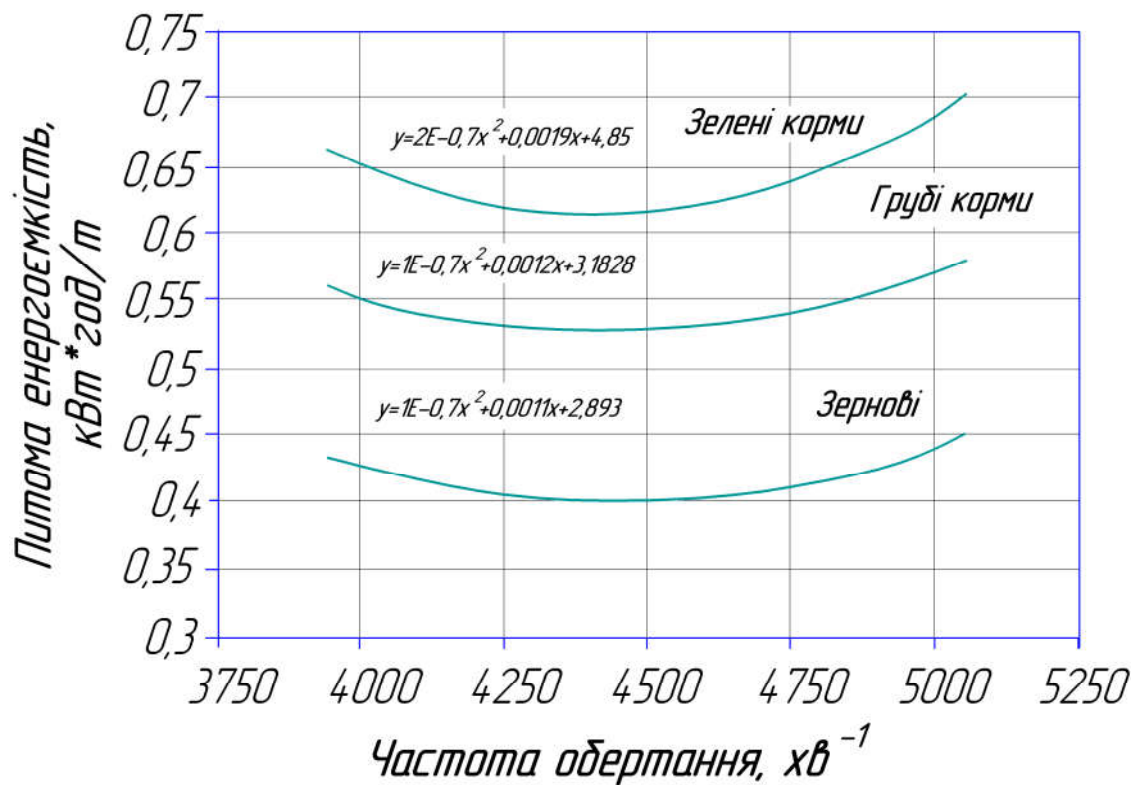


Рисунок 3.3 – Залежність питомої енергоємності подрібнювача від частоти обертання подрібнюючого елемента

Це пояснюється різними фізико – механічними властивостями досліджуваних видів кормів.

Одним із основних показників якості подрібненого корму є модуль подрібнення, на значення якого впливають: частота обертання робочого органу, подача корму в камеру подрібнення та інші. Тому проводили досліди впливу деяких із наведених факторів. На рисунку 3.4 наведені залежності модуля подрібнення від частоти обертання робочого органу.

Проаналізувавши залежності видно, що модуль подрібнення кормів зменшується із збільшенням частоти обертання робочого органу і зменшенням подачі корму в камеру подрібнення. Це пояснюється тим, що швидкість корму із збільшенням частоти обертання перевищує критичну швидкість руйнування корму.

Рисунок 3.4 - Залежність модуля подрібнення кормів від частоти обертання робочого органу

Із необхідністю визначення кількості подаючого корму в подрібнювач були побудовані залежності виходу кондиційної фракції які показані на рисунку 3.5.

- △ 5000 хв<sup>-1</sup>
- 4500 хв<sup>-1</sup>
- ◇ 4000 хв<sup>-1</sup>

Рисунок 3.5 - Залежність виходу кондиційної фракції від подачі корму

△ 0,4 м; □ 0,38 м; ◇ 0,36 м

Рисунок 3.6 – Вплив подачі  $Q$  на чіткість сепарації

У міру збільшення подачі корму в подрібнюючу камеру машини зростає кількість виходу і вміст в ньому подрібнених частинок. При цьому, чіткість подрібнення змінювалася із зміною подачі подрібнюючого матеріалу.

Так, при збільшенні подачі від 0,11 до 0,55 кг/с чіткість подрібнення матеріалу склала: 80% - 83%.

○ - Сходи; × - Прокідні частини

Рисунок 3.7 – Залежності кількості виходу подрібненого продукту від частоти обертання

Дослідивши вплив частоти обертання подрібнювача на кількість виходу подрібненої продукції і склад проходових частинок в ньому проводили при подачі матеріалу 0,278.0,555 кг/с. Залежності представлені на рисунку 3.7.

Виявлена наступна закономірність – при збільшенні частоти обертання подрібнюючого ротора знижується кількість виходу  $N_{cx}$  і зміст проходових частинок  $V_{пр}$  в ньому. Найменше значення спостерігається при подачі матеріалу 0,278 кг/с. Він зменшується при збільшенні частоти обертання від 4000 до 5000 об/хв з 25 до 12 %. Це пов'язано з тим, що збільшення частоти обертання сприяє інтенсифікації процесу доподрібнення некондиційної фракції і більшому виходу прохідних частинок подрібненого матеріалу.

## РОЗДІЛ 4

## СТАРТАП РОЗРОБКИ

## 4.1 Будова та робота комбінованого подрібнювача кормів

Для забезпечення подрібнення різних видів кормів проектуємо комбіновани (універсальний) подрібнювач з комбінованими робочими органами (ножові та молоткові робочі органи в подрібнюючому барабані).

Для використання проекрованої машини в комплексі автоматизованої лінії, проектуємо над горизонтальним транспортером подачі грубих кормів в універсальний подрібнювач, бункер – накопичувач зернових компонентів кормів, який дає змогу виключити подачу кормів вручну.



1 – подрібнюючий ротор; 2 – ніж; 3 – молоток; 4 – вал; 5 – дека; 6 – решітка; 7 – кожух; 8 – заслонка; 9 – завантажувальний бункер; 10 – розвантажувальна горловина; 11 – подаючий транспортер; 12 – прижимний транспортер; 13 – вікно подачі грубих кормів.

Рисунок 4.1 – Універсальний подрібнювач кормів

Розроблений комбінований подрібнювач кормів (рисунок 4.1) складається із бункера накопичувача зернових кормів 9, подачу зернового продукту в подрібнюючу камеру регулюють заслонкою 8, горизонтального подаючого транспортера 11 для подавання грубих кормів, похилого прижимного транспортера 12, подрібнюючого ротора 1, на якому встановлені комбіновані робочі органи ножі 2 та молотки 3 (порядок розміщення робочих органів наведено на рисунку 4.2), для покращення подрібнення матеріалу під ротором встановлені дека 5, регулювання фракції подрібнення матеріалу проводиться заміною решітки 6, розвантажування подрібненого матеріалу відбувається через розвантажувальну горловину 10, всі основні вузли машини змонтовані на рамі.

1 – Молотки; 2 – ножі.

Рисунок 4.2 – Порядок розміщення робочих органів на подрібнюючому роторі

Комбінований подрібнювач спроектований для подрібнення грубих, зернових та зелених кормів, але може виконувати різні функції: подрібнення шматкових матеріалів, подрібнення та змішування компонентів кормосуміші. При подрібненні шматкових (коренебульбоплоди) горизонтальним транспортером подається в перед по рамі до подрібнюючої камери. Подрібнюючий ротор обладнується сегментними ножами та молотками, які кріпляться на дисках і фіксуються віссю, сегменти та молотки розміщуються на роторі таким чином щоб при роботі один перехвачували другий, тобто подрібнення відбувається в суцільному порядку. Частота обертання подрібнюючого ротора по нашим визначенням (для досягнення достатньої продуктивності, якості подрібнення та зменшення енергозатрат) становить в межах  $4000 - 4200 \text{ хв}^{-1}$ . При подрібненні різних компонентів матеріалів днище подрібнювача обладнується деками та решітками з різними отворами.

Подрібнювач можна використовувати при роботі автоматизованої лінії приготування кормів.

#### 4.2 Розрахунок клинопасової передачі приводу подрібнювача

Проводимо розрахунок клинопасової передачі приводу подрібнюючого ротора.

Вихідні дані для розрахунку:

Частота обертання вала подрібнюючого ротора,  $n = 4200 \text{ об/хв}$ ;

Частота обертання вала електродвигуна,  $n = 3000 \text{ об/хв}$ ;

Потужність електродвигуна  $N = 8,5 \text{ кВт}$ .

Передаточне відношення передачі визначаємо за формулою [11]:

$$u_{кп} = \frac{n}{n_p} = \frac{4500}{3000} = 1,5 \quad (4.1)$$

Діаметр меншого шківa визначаємо за формулою:

$$d_1 \approx \left(\frac{3}{4}\right) \cdot \sqrt[3]{T_1}, \quad (4.2)$$

де  $T_1$  – крутний момент на валу двигуна,  $H \cdot мм$ .

$$T_1 = \frac{P}{\omega}, \quad (4.3)$$

де 
$$\omega = \frac{3.14 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ рад/с},$$

Підставляємо значення у формулу 4.3 та проводимо розрахунок:

$$T_1 = \frac{2,2 \cdot 10^3}{314} = 7,1 \cdot 10^3 \text{ Нм},$$

Підставляємо значення у формулу 4.2 та проводимо розрахунок:

$$d_1 = \left(\frac{3}{4}\right) \cdot \sqrt[3]{7,1 \cdot 10^3} = 14,5 \text{ мм}.$$

Заокруглюємо діаметр шківів до стандартного значення по ГОСТ 17383-73,  $d_1 = 40 \text{ мм}$ .

Діаметр більшого шківів передачі визначаємо по формулі [11]:

$$d_2 = d_{1u} \cdot (1 - \varepsilon), \quad (4.4)$$

де  $u$  – передаточне відношення передачі,  $u = 1,5$ ;

$\varepsilon$  - коефіцієнт, який враховує відносне ковзання паса,  $\varepsilon = 0,01$ .

Підставивши значення у дану формулу, отримаємо:

$$d_2 = 40 \cdot 1,5 (1 - 0,01) = 59,4 \text{ мм}.$$

Отримане значення діаметра шківів заокруглюємо до стандартного значення відносно ГОСТ 17383-73,  $d_2 = 63 \text{ мм}$ .

Передаточне відношення перевіряємо за формулою:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}, \quad (4.5)$$

Підставивши значення отримаємо:

$$u = \frac{63}{40} = 1,57.$$

Таким чином вибрані нами шківів задовольняють умову  $u = 1,5$ .

Міжосьову відстань визначаємо за формулою [14]:

$$a_{max} = d_1 + d_2, \quad (4.6)$$

Підставляємо значення:

$$a_{max} = 40 + 63 = 103 \text{ мм.}$$

Міжосьову відстань уточнюємо за формулою [14]:

$$a = 0,25 \cdot \left[ (L_p - W) + \sqrt{(L_p - W)^2 - 2y} \right], \quad (4.7)$$

де  $L_p$  – розрахункова довжина паса, мм;

$$W = 0,5\pi(d_1 + d_2), \quad (4.8)$$

$$W = 0,5 \cdot 3,14(40 + 63) = 161,7 \text{ мм.}$$

$$y = \frac{(d_2 - d_1)^2}{4}, \quad (4.9)$$

$$y = \frac{(63 - 40)^2}{4} = 132,3.$$

Розрахункову довжину паса визначаємо за формулою:

$$L_p = \frac{2a + \pi(d_1 + d_2)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4a}, \quad (4.10)$$

де  $a$  – максимальна міжосьова відстань,  $a = 220$  мм.

Підставляємо значення:

$$L_p = \frac{2 \cdot 103 + 3,14 \cdot (40 + 63)}{2} + \frac{(63 - 40)^2}{4 \cdot 103} = 265,9 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $L_p = 300$  мм, згідно ГОСТ 1284.3 – 80.

Підставляємо значення у формулу 4.7 і проводимо розрахунок:

$$a = 0,25 \left[ (300 - 161,7) + \sqrt{(300 - 161,7)^2 - 132,3 \cdot 2} \right] = 102,6 \text{ мм.}$$

Необхідну кількість пасів визначаємо за формулою:

$$Z = \frac{P C_p}{[P]} = \frac{P C_p}{3(P_o \cdot C_L \cdot C_\alpha \cdot C_z)}, \quad (4.11)$$

де  $P$  – потужність на валу,  $P = 8,5$  кВт;

$C_p$  – коефіцієнт режиму роботи,  $C_p = 1,3$  (таблиця 7.10 [12]);

$C_L$  – коефіцієнт, який враховує вплив довжини паса,  $C_L = 0,86$ ;

$C_\alpha$  – коефіцієнт кута обхвату шківів.  $\alpha = 180 - 60 \cdot \frac{63 - 40}{103} = 166,6^\circ$ , при куту  $\alpha =$

$170^\circ$ ,  $C_\alpha = 0,56$ ;

$P_o$  – потужність, яка допускається одним пасом,  $P_o = 1,22$  кВт;

$C_z$  – коефіцієнт, враховуючий кількість пасів, приймаємо  $C_z = 0,95$ .

Підставляємо значення у формулу 4.11 і проводимо розрахунок:

$$Z = \frac{8,5 \cdot 1,3}{3 \cdot (1,22 \cdot 0,86 \cdot 0,95 \cdot 0,66)} = 2,44 \text{ шт.}$$

Приймаємо 3 паси В- 300 Ш ГОСТ 1284.1 – 80.

#### 4.3 Розрахунок економічної ефективності впровадження розробки

Розрахунок економічної ефективності від застосування експериментального комбінованого подрібнювача проводили на основі порівняльних випробувань із серійним подрібнювачем ДКУ – М. Початкові дані взяті за наслідками випробувань і з нормативно - довідкових матеріалів і представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1 Початкові дані розрахунку економічної ефективності універсального подрібнювача кормів

Показники	Подрібнювач	
	Базова ДКУ – М	Експери – ментальна
Вихід готового продукту за годину чистого часу, т/год	1,2	2,2
Обслуговуючий персонал, чел	1	1
Споживана потужність, кВт	10	8,5
Оптова ціна машини, грн.	221546	132400
Коефіцієнт використання робочого часу зміни	0,80	0,80
Тривалість роботи машини за добу, год	7,0	7,0
Завантаження машини в рік, днів	260	260
Тарифна ставка робочого, грн/т	10,7	10,7
Ціна 1 кВт електроенергії, грн	1,75	1,75



Норма відрахувань на реновацію %	16,6	16,6
Норма відрахувань на ремонт %	15,0	15,0
Нормативний коефіцієнт ефективності	0,15	0,15

Річне завантаження визначаємо за формулою, год:

$$t_{год} = D \cdot t_{жс}, \quad (4.12)$$

де  $D$  - завантаження машини на протязі року, днів;

$t_{жс}$  - час експлуатації машини в зміну, годин.

$$t_{год} = 260 \cdot 7 = 1820 \text{ год},$$

Кількість готової продукції за годину змінного часу,  $m/год.$ , визначаємо по формулі:

$$Q_{з.ч} = Q_{год} \cdot K_{уп}, \quad (4.13)$$

де  $Q_{год}$  - вихід готового продукту за годину чистого часу,  $m/год$ ;

$K_{уп}$  - коефіцієнт використання робочого часу,  $K_{уп} = 0.8$ .

$$Q_{з.ч.пр} = 2.2 \cdot 0.8 = 1.76 \text{ m/год},$$

$$Q_{з.ч.б} = 1.2 \cdot 0.8 = 0.96 \text{ m/год},$$

Річний об'єм робіт визначаємо за формулою,  $m$ :

$$B = Q_{год} \cdot t_{год}, \quad (4.14)$$

$$B_{пр} = 1.76 \cdot 1820 = 3203.2 \text{ m},$$

$$B_{б} = 0.96 \cdot 1820 = 1747.2 \text{ m},$$

Прямі експлуатаційні витрати на подрібнення матеріалу визначаємо за формулою,  $грн/т$ :

заробітна плата:

$$z_{п} = \frac{C_p}{Q_{год}}, \quad (4.15)$$

де  $C_p$  - тарифна ставка робочого (таблиця 4.1),  $грн/т$ ,

$$z_{п.п} = \frac{10,7}{1,76} = 6,07 \text{ грн/т.},$$

$$z_{п.б} = \frac{10,7}{0,96} = 11,2 \text{ грн/т.},$$

відрахування на реновацію визначаємо за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot m \cdot r_6}{100B}, \quad (4.16)$$

де  $Ц$  - оптова ціна машини (таблиця 4.1), грн;

$m$  - ;  $r$  - норма відрахувань на реновацію (таблиця 4.1),%

$$A_{пп} = \frac{132400 \cdot 16,6}{100 \cdot 3203,2} = 6,86 \text{ грн/т.},$$

$$A_б = \frac{221546 \cdot 16,6}{100 \cdot 1747,2} = 21,1 \text{ грн/т.},$$

Відрахування на поточний ремонт машин визначаємо за формулою:

$$R = \frac{Ц \cdot m \cdot r_{mp}}{100 \cdot B}, \quad (4.17)$$

де  $r_{mp}$  - норма відрахувань на ремонт, % (таблиця 4.1);

$$R_{пп} = \frac{132400 \cdot 15}{100 \cdot 3203,2} = 6,2 \text{ грн/т.},$$

$$R_б = \frac{221546 \cdot 15}{100 \cdot 1747,2} = 19,1 \text{ грн/т.},$$

Затрати на кількість використаної електроенергії визначаємо за формулою::

$$z_E = C_E \cdot P_V, \quad (4.18)$$

де  $C_E$  - ціна 1 кВт електроенергії (таблиця 4.1), грн;

$P_V$  - споживана потужність на одиницю продукції,  $P_{y.пп} = 8,5/2,2 = 3,86$   
кВт.год/т;  $P_{y.б} = 10/1,2 = 8,4$  кВт.год/т;

Підставляємо значення у дану формулу та проводимо розрахунок.

$$z_{E.п} = 1,75 \cdot 3,86 = 6,75 \text{ грн/т.},$$

$$z_{E.б} = 1,75 \cdot 8,4 = 14,7 \text{ грн/т.},$$

Прямі експлуатаційні витрати визначаємо за формулою, грн/т.:

$$C = Z_{II} + A + R + Z_3, \quad (4.19)$$

Підставляємо значення у формулу і проводимо розрахунок:

$$C_{II} = 6,75 + 6,86 + 6,2 + 6,07 = 25,88 \text{ грн/т.},$$

$$C_B = 14,7 + 21,1 + 19,1 + 11,2 = 66,1 \text{ грн/т.},$$

Питомі капіталовкладення визначаємо за формулою.:

$$K = \frac{Ц \cdot m}{B}, \quad (4.20)$$

$$K_{II} = \frac{132400}{3203.2} = 41,3 \text{ грн/т.},$$

$$K_B = \frac{221546}{1747.2} = 126,8 \text{ грн/т.},$$

Сума приведених витрат визначається за формулою, грн/т.:

$$Z = C + E_H \cdot K, \quad (4.21)$$

$$Z_{II} = 25,88 + 0,15 \cdot 41,3 = 32,1 \text{ грн/т.},$$

$$Z_B = 66,1 + 0,15 \cdot 126,8 = 85,12 \text{ грн/т.},$$

Річний економічний ефект визначаємо за формулою, грн.:

$$\mathcal{E}_p = (Z_B - Z_{II}) \cdot B_{np}, \quad (4.22)$$

$$\mathcal{E}_p = (85,12 - 32,1) \cdot 3203,2 = 169833,6 \text{ грн.},$$

Термін окупності визначаємо за формулою, років:

$$T = \frac{K_{II} - K_B}{C_B - C_{II}}, \quad (4.23)$$

$$T = \frac{126,8 - 41,3}{66,1 - 25,88} = 2,12 \text{ років.}$$

Економічний ефект від застосування експериментального універсального подрібнювача кормів визначали як різницю в приведених витратах порівнюваних машин. Результати розрахунків наводимо в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок показників економічної ефективності використання комбінованого подрібнювача кормів

Показники	Подрібнювачі	
	Базовий ДКУ – М	Проектований
Річне завантаження, год.	1820	1820
Вихід готової продукції за годину змінного часу, т/год.	1,2	2,2
Річний об'єм робіт, т	1747,2	3203,2
Прямі експлуатаційні витрати на заробітна плата, грн/т,	11,2	6,07
відрахування на реновацію, грн/т,	21,6	6,86
відрахування на поточний ремонт грн/т,	19,1	6,2
електроенергія, грн/т.	14,7	6,75
Всього прямих експлуатаційних витрат, грн/т	66,1	25,88
Питомі капітальні вкладення, грн/т	126,8	41,3
Сума приведених витрат, грн/т	85,12	32,1
Річний економічний ефект, грн	-	169833,6
Термін окупності, років	-	2,12

З даних таблиці 4.2 витікає, що застосування комбінованого подрібнювача кормів доцільно, оскільки дозволяє отримати економічний ефект в 169833,6 грн. за рік.

## ВИСНОВКИ

Аналіз роботи подрібнювачів кормів показав, що підвищити продуктивність та збільшити якість подрібнення продукту і понизити питомі енерговитрати можна за рахунок встановлення комбінованих робочих органів (ножів, молотків), при якому відбувається ефективно розділення подаючих компонентів на фракції.

Провівши теоретичні дослідження робочого процесу комбінованого подрібнювача кормів показали, що запропонована конструкція робочих органів дозволяє регулювати якість виходу матеріалу та підвищити ефективність роботи агрегату за рахунок зміни його конструктивних та режимних параметрів.

Визначена оптимальна швидкість подрібнюючих частинок в подрібнюючій камері проектного подрібнювача – 90.105 м/с. Отримані залежності для визначення сили удару частинок об створки жалюзів дека.

Мінімальні енерговитрати при подрібненні зернових культур на лабораторній установці становить 0,487; зелених кормів – 0,595; грубих кормів – 0,403 кВт\*год/т. Оптимальними параметрами для роботи подрібнюючого елемента універсального подрібнювача кормів в дослідних умовах є: частота обертання подрібнюючого ротора 4200.4500 об/хв, подача подрібнюючого матеріалу 0,43.0,45 кг/с, діаметр подрібнюючого ротора 0,550 – 0,650 м.:

На якість отриманого подрібненого матеріалу в комбінованому подрібнювачі кормів істотно впливає частота обертання подрібнюючого ротора та подача матеріалу. Рівномірність подрібненої фракції матеріалу склала 74.83%.

З метою визначення можливостей широкого застосування комбінованого робочого органу розроблений варіант – ножовий і молотковий подрібнювач, необхідно продовжити дослідження його динамічної взаємодії в процесі роботи.

Використання даної конструкції комбінованого подрібнювача кормів дасть змогу збільшити ефективність роботи машини та збільшити сферу

застосування подрібнювача що є суттєво на даний час по використанню кормових компонентів в тваринницькій галузі сільського господарства.

З даних таблиці 4.2 витікає, що застосування комбінованого подрібнювача кормів доцільно, оскільки дозволяє отримати економічний ефект в 169833,6 грн. за рік.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора – машиностроения: В 3 томах. М.: Машиностроение, 1982. 572с.
2. Алешкін В.Р. Підвищення ефективності процесу і технічних засобів механізації подрібнення кормів. Дис., доктора технічних наук: К, 1995, 446 с.
3. Адамчук В.В. Про роботу і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня / В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, В.В. Іванишин // 36 наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун – ту. Серія: Технічні науки. Вінниця: ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 2 (66). – С. 8 – 14.
4. Босой Е. С. Исследование режущих аппаратов для толстостебельных культур. Конструирование и производство сельскохозяйственных машин. М., Машгиз, 1995.
5. Бремер Г. И. Основы теории резания лезвием и расчет режущих машин животноводческих ферм. М., ВСХИЗО, 1993.
6. Віденко М.К. Використання машинно – тракторного парку. К.: Урожай, 1999-365с.
7. Гарькавий А.Д., Кондратюк Д.Г., І.Є. Кравченко, Спирін А.В., В.В. Томчук Розрахунок техніко-економічних показників роботи машинно-тракторних агрегатів. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи. ВДСГІ, 1998. 5 с.
8. Горячкин В. П. Теория соломорезки и силосорезки. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Т. IV. М., Сельхозиздат, 1986.
9. Гунько І.В. Сучасні методи розрахунку робочих процесів ДВЗ Яцковський В.І., Гунько І.В., Гуцаленко О.В. Монографія. Вінниця, РВВ ВНАУ, 2016. 131 с.
10. Гунько І.В. Технічний сервіс в АПК. Навчальний посібник для курсового та дипломного проектування. Супрун Д.Г., Гунько І.В., Паладійчук Ю.Б., Швець Л.В. Вінниця, ВНАУ, 2012 197с.

11. Дацишин О.В. Дипломне та курсове проектування. К.: Урожай, 1996. 190 с.
12. Джонс Д.К. Методи проектування: Пер. з англ. К.: 2012. 326 с.
13. Дипломное и курсовое проектирование /Д.Т. Войтюк ,О.В. Дашин, В.С.Колисник .За ред О.В.Дацишина. К.: Урожай, 1996. 12 с.
14. Деревенько І.А., Сивак Р.І. Опір матеріалів: навчальний посібник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 308 с.
15. Експлуатація машино-тракторного парку в аграрному виробництві / В.Ю.Ільченко, П.І Карасьов, А.С. Лімонт та інш.; за ред. В.Ю. Ільченка. К.: Урожай, 1993. 288 с.
16. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 2 (ч. 1). Машини для заготівлі кормів. Х.: Око, 2003. 360 с.
17. Любін М.В. Механізація транспортуючих робіт. ВНАУ. Вінниця, 2004. 212с.
- 18 Любін М.В., Токарчук О.А. Підйомно-транспортні машини. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни, ВНАУ, 2018. 36 с.
19. Кукта Г.М. Машини и оборудование для приготовления кормов М.:Агропромиздат, 1987, 303 с.
- 20 Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.ІІІ: Підручник. Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк та ін.; за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. К.: Хай Тек-Прес, 2013. 528 с.
- 21 Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч І, ІІ : Підручник/ Г.М. Калетнік, М.Г. Чаусов, В.М. Швайко, В.М. Пришляк, А.П. Пилипенко, М.М. Бондар : За ред.. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова. К.: Хай-Тек-Прес ,2011. 616 с.
22. Калетнік Г.М., Теоретичні основи моделювання та фінансово-економічні розрахунки в менеджменті та бізнесі. Навчальні посібники. Г.М. Калетнік, С.В. Козловський, О.Г. Підвальна. Вінницький національний аграрний університет., 2009.



23. Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Марченко В.В. та інші. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу. К.: НАУ, 2001. 96 с.
24. Механізація виробництва продукції тваринництва / І.І. Ревенко, Г.М. Кукта, В.М. Манько та ін; За ред. І.І. Ревенка. К.:Урожай, 1994. 264 с.
25. Ревенко І.І. Интенсификация процесса переработки кормов молотковыми измельчителями: Автореф. дис. доктора техн. наук.-Глеваха, 1991. 38с.
26. Ревенко І.І., Роговий В.Д., Кравчук В.І., Манько В.М., Чос М.М. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств. К.: Урожай, 1999. 189 с.
27. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень. К.: Урожай, 1994.
28. Омелянов О. М. Безпека праці та життєдіяльності: навч. посіб. О. М. Омелянов, А. В. Спирін, І. В. Твердохліб; Вінн. нац. аграр. ун-т. – Вінниця: ВНАУ, 2020. 334 с.
29. Охорона праці / Г.М.Грядник, С.Д. Лехман, Д.А. Бутко та ін. К.: 1994. 271 с.
30. Пришляк В.М., Погорілець О.М.. Сільськогосподарські машини: розрахунок, проектування. Методичні вказівки до виконання курсової роботи. ВНАУ, 2016. С. с.84.
31. Чернавский С.А., Боков К.Н., и др. Курсовое проектирование деталей машин. М.: Машиностроение, 1998. 416с.
32. Швець Л.В. Технічне обслуговування машин в рослинництві. Методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних робіт для студентів ОС Магістр спеціальності 208 – Агроінженерія Л.В. Швець, Ю.Б. Паладійчук, О.О. Труханська Вінниця: РВВ ВНАУ, 38095 Протокол № 7 від 18 березня 2019. 84 с.
33. Швець Л.В. Технічний сервіс в АПК. Том І. Навчальний посібник. Швець Л.В., Паладійчук Ю.Б., Труханська О.О./ Вінницький національний аграрний університет, 2019. 647с.

34. Henderson S.M., Hansen R.C. Farm grain communication: Hammer mill and burr mill performance analyzed. // Transactions of the ASAE, 1969-p.339-402.

35. Sebestuen E.J. Grinding of animal feeding stuffs // Journal of Flaut and Animal Feed Milling, May, 1974.

36. Von Marous Brandt. Anmerkungen zur Beurteilung von Hammermuhlo // Die Muhle Mischfuttertechnik, April, 9, 1970, Heft 15, 107.-p.209-212.

37. Von U Vob. Schrotmuhlen und Futtermischer. // Grundlagen des Landtechnik, 1974. August, Nr.8.-p.349-352.