

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

Обґрунтування параметрів подрібнювача соковитих кормів

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-1-23
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Чубук Андрій Андрійович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Леперда Володимир Юрійович

Дніпро 2024

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«12» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Чубуку Андрію Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування параметрів подрібнювача соковитих кормів

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«12» листопада 2024 року № 3784

2. Строк подання студентом роботи 16.12.2024 р.

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

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивно - режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів. 3. Програма і методика експериментальних досліджень соковитих кормів. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці. 6. Економічне обґрунтування розробленого малогабаритного подрібнювача соковитих кормів. Загальні висновки. Бібліографія

5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р. .

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

(підпис)

Чубук А.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івлєв В.В.

(прізвище та ініціали)

Чубук А.А. Обґрунтування параметрів подрібнювача соковитих кормів (Дипломна робота. м. Дніпро, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, 2024. - с., 12 аркушів формату А4 демонстраційної частини).

У вступній частині дипломної роботи обґрунтовано актуальність теми, з аналізу способів подрібнення соковитих кормів, зроблені висновки. В другому розділі теоретично обґрунтовано кількість ріжучих елементів і обґрунтовано їх розміщення на поверхні подрібнюючого барабана. На основі програми та методики експериментальних досліджень були отримані оптимальні конструкційно-режимні параметри пристрою. Приведено вимоги охорони праці. Виконано економічне обґрунтування розробки. Зроблені висновки та складено список використаної літератури.

Ключові слова: подрібнення, ріжучі елементи, ножове поле, швидкість різання, питомі експлуатаційні витрати.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз стану питання	10
1.1 Аналіз способів подрібнення соковитих кормів	10
1.2 Аналіз технологічних ліній підготовки соковитих кормів до згодовування	12
1.3 Класифікація і аналіз конструкцій подрібнювачів соковитих кормів	16
1.4 Мета і завдання дослідження	33
2 Теоретичне обґрунтування конструктивно - режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів	35
2.1 Обґрунтування параметрів робочого органу	35
2.2 Взаємодія робочого органу з матеріалом, що подрібнюється	44
2.3 Продуктивність подрібнювача соковитих кормів	57
2.4 Висновки	59
3 Програма і методика експериментальних досліджень соковитих кормів	61
3.1 Пристрій та принцип дії експериментальної установки	61
3.2 Програма і мета дослідження	63
3.3 Вибір факторів і критеріїв оптимізації	64
3.4 Вибір рівнів варіювання факторами	65
3.5 Методика оцінки якості подрібнення соковитих кормів	65
3.6 Висновки	68
4 Результати експериментальних досліджень	69
4.1 Результати основного експерименту і визначення оптимальних режимів роботи подрібнювача соковитих кормів	69
4.2 Висновки	75
5 Охорона праці	76
5.1 Загальні вимоги охорони праці при подрібненні соковитих кормів	76
5.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі з	

подрібнювачем соковитих кормів	77
5.3 Порядок дій під час пожежі	79
5.4 Висновки	79
6 Економічне обґрунтування розробленого малогабаритного подрібнювача соковитих кормів	80
6.1 Вихідні дані	80
6.2 Розрахунок показників економічної ефективності	80
6.3 Висновки	82
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	83
Бібліографія	84
ДОДАТКИ	87

Вступ

В останні роки в Україні спостерігається значне зменшення поголів'я худоби в господарствах усіх категорій і, відповідно, виробництва продукції тваринництва. Так, в 2021 році поголів'я худоби в господарствах усіх категорій склало 194,3 млн. голів, що в порівнянні з 2019 роком, коли поголів'я худоби було - 273,8 млн. голів, менше на 70,96 %. У зв'язку із цим знизилася виробництво м'яса і молока в 2021 році в порівнянні з 2019 роком на 92 % і 84,95 % відповідно.

Успіх роботи ферм у стійловий період змісту худоби багато в чому залежить від повноцінності годівлі тварин. Уміле і раціональне використання кормів повинне бути в центрі уваги при виробництві продукції тваринництва.

Одними з основних умов в успішному розв'язку цього завдання є вдосконалювання технологій і оптимізація систем машин, устаткування для кормоцехів, що дозволяють готувати вологі кормові суміші із широким використаннями грубих і соковитих кормів. Це дозволить скоротити витрату концентратів у раціонах великої рогатої худоби і знизити собівартість одержуваної продукції.

У збільшенні і прискоренні виробництва тваринницької продукції визначальна роль належить кормам, на частку яких доводиться більш половини собівартості продукції тваринництва. Очевидно, що підготовка кормів до згодовування відповідно до зоотехнічних вимог набуває пріоритетного значення, тому що подрібнення корму приводить до збільшення витрат енергії і втратам при згодовуванні, а недоподрібнений корм погано засвоюється тваринами, викликає більші втрати живильних речовин при зберіганні.

Найбільш енергоємний і разом з тим розповсюджений процес підготовки кормів - це подрібнення.

Питанням подрібнення рослинних матеріалів присвячене багато наукових досліджень, серед яких провідне місце займають праці академіків В.П. Горячкіна, М.В. Саблікова, В.А. Желиговського, П.А. Ребіндера,

професорів Н.Е. Рєзніка, С.В. Мельникова і багатьох інших авторів. Однак повністю процес подрібнення таких матеріалів машинами з різними конструктивними рішеннями не досліджений.

У зв'язку із цим вивчення і удосконалювання малогабаритного подрібнювача кормів і його робочих органів, спрямоване на підвищення пропускної здатності і зниження енергоємності при збереженні якості продукту подрібнення, яке обумовлено зоотехнічними вимогами - актуальне і найважливіше завдання.

1 Аналіз стану питання

1.1 Аналіз способів подрібнення соковитих кормів

Відповідність якості готового корму зоотехнічним вимогам - основний параметр для оцінки ступеня досконалості конструкцій подрібнювачів соковитих кормів. Якість подрібнення залежить від багатьох факторів: способів подрібнення, конструкцій робочих органів, кінематичних характеристик технологічного процесу і т.д.

Залежно від способу впливу робочого органа на матеріал і виду викликуваної в ньому деформації подрібнення кормів може здійснюватися ударом, розмелом і різанням. Перші два принципи подрібнення при механічній обробці соковитих кормів не одержали достатнього поширення у зв'язку з високою енергоємністю процесу і більшими втратами соку. Наприклад, застосування в технологічних лініях подрібнення соковитих кормів агрегату АПК-10А з ударними руйнуючими елементами приводить до різкого збільшення собівартості готового продукту внаслідок високої енергоємності процесу, що досягає 4,1...5,6 кВт-год/т. Тому в більшості засобів механізації подрібнення соковитих кормів закладений принцип подрібнення різанням.

Подрібнення пуансоном характеризується впливом на соковиті корми робочих граней рухливих і нерухливих ножів. Такий спосіб різання реалізований у другому ступені подрібнювача ИКВ-Ф-5А «Волгарь-5А». При різанні лезом, яке використовують у соломосилосорізках, матеріал руйнується в основному під дією тиску безпосередньо вершини двохгранного кута робочої частини ножа, яка називається лезом. У цьому випадку грані клина, які називаються фасками, істотного впливу на процес різання не виявляють, а сам процес різання відбувається без зняття стружки.

У коренерізках і пастопріготувачів руйнуючим елементом є різець. При різанні різцем його робоча кромка безпосереднього впливу на матеріал не виявляє. Різець діє як клин, і тиск із боку оброблюваного матеріалу

зосереджене головним чином на передній грані. Різання відбувається зі зняттям стружки.

Процес різання буває трьох видів: нормальним, похилим і ковзним.

Відзначені види різання відрізняються один від одного величиною кута τ , який знаходиться між напрямком руху розглянутої точки леза і нормаллю до леза, що проходить через цю точку. Кут τ називають кутом ковзання.

При нормальнім різанні (рисунок 1.1 а) матеріал розрізеться під дією тільки нормальної сили N без бічного переміщення ножа, тобто без участі бічної сили T . Має місце «рубання» матеріалу. Кут ковзання $\tau = 0$. Такий вид різання використовується в машинах КПИ-4, ИКМ-5.

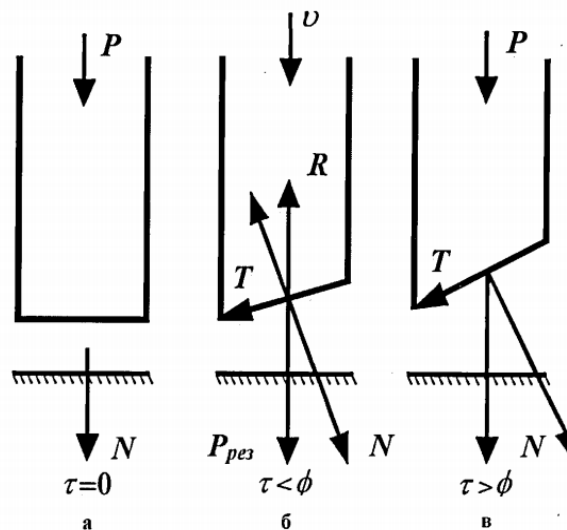


Рисунок 1.1- Види різання:

а- нормальне; б-похиле; в - ковзне

Цьому ж сприяє перепилююча дія нерівностей (мікровиступів) на лезі ножа, які завжди є на ньому. Цими нерівностями ніж захоплює волокна матеріалу, у результаті між сусідніми частками, що зміщаються, виникають напруги розтягання або зрушення, для яких межа міцності менше, чим при деформації стиску, викликуваної дією нормального тиску.

При цьому спостерігається зменшення необхідного питомого тиску внаслідок зменшення фактичного кута заточення при переміщенні косо поставленого клина - леза. Це явище відкрите проф. Н. Е. Резніком і одержало назву кінематичної трансформації кута заточення. Принцип похилого різання

застосовується в машинах КДУ-2 [1 ступінь], Волгарь-5 [1 ступінь] та ін. При ковзнім різанні (рисунок 1.1 в) кут ковзання більше кута тертя ($\tau > \varphi$). Різання проводиться нормальним тиском за участю бічної сили, яка в цьому випадку обумовлює ковзний рух часток матеріалу уздовж по лезу (або леза по матеріалу).

Внаслідок недостатності сили зчеплення (тертя) частки матеріалу при переміщенні відстають від бічного руху ножа; виниклий відносний рух забезпечує перепилуючу дію мікровиступів леза, викликаючи тим самим руйнування матеріалу. Виходячи із усього вище сказаного, слід зазначити, що ковзне різання найменш енергоємне, але важко здійсненне при подрібнюванні соковитих кормів внаслідок більших значень кута тертя соковитих кормів об грані металевго клина (30...40°). Тому в конструкціях сучасних подрібнювачів соковитих кормів, як правило, застосовується похиле різання, яке забезпечує порівняно низьку енергоємність процесу подрібнення і гарну якість одержуваного продукту.

1.2 Аналіз технологічних ліній підготовки соковитих кормів до згодовування

При обробці соковитих кормів застосовують наступні технологічні схеми підготовки їх до згодовування:

- 1) мийка;
- 2) мийка (сухе очищення) і подрібнення;
- 3) мийка (сухе очищення), подрібнення, дозування і змішування;
- 4) мийка, запарювання (варіння), розминання, дозування і змішування.

Першу технологічну схему використовують на фермах великої рогатої худоби у випадку, коли соковитий корм згодовують тваринам без механічної або термічної обробки.

Мийка соковитого корму - дуже відповідальна операція технологічного процесу підготовки кормів до згодовування, тому що за короткий проміжок

часу (60... 120 с) забруднення корму повинне знизитися з 12...20 % (звичайний післязбиральний стан) до залишкової, рекомендованої зоотехнічними вимогами забруднення, що не перевищує 2...3 %.

У технологічних лініях готування кормових сумішей для доочищення соковитого корму перед їх подрібненням використовують різні мийки, конструктивно виконані як окремі машини або як транспортуючий вузол подрібнювача.

По конструкції коренеклубнемийки ділять на барабанні, кулачкові (бильні), шнекові, відцентрові, струминні (гідроелеваторні). По організації робочого процесу такі машини можуть бути періодичної і безперервної дії. Найчастіше використовують шнекові мийки безперервної дії. Їхнім основним робочим органом є шнек, найчастіше зі змінним кроком спіралі, встановленим під кутом 20...45° до горизонталі.

Переваги застосовуваних на окремих машинах пристроїв сухого очищення соковитих кормів (наприклад, в подрібнювача ІКМ-Ф-10) неоднозначні, оскільки таке очищення пов'язана з виділенням великої кількості пилу в повітря робочої зони. Це приводить до необхідності впровадження систем вентиляції і аспірації та, як наслідок, до додаткових витрат енергії. Крім того, після сухого очищення залишкове забруднення соковитого корму, вирощеного на суглинних ґрунтах і чорноземі, у більшості випадків перевищує встановлені зоотехнічними вимогами межі.

Друга технологічна схема звичайно реалізується в комбінованих агрегатах і машинах, у яких пристрій для мийки соковитих кормів встановлений перед подрібнюючим апаратом (ІКС-5М, ІКМ-5, ЗПК-4, АПК-10 і ін.).

Попередньо відмиті або очищені соковиті корми подрібнюються відповідно до пропонованих до одержуваного продукту зоотехнічних вимог. Соковиті корми можуть подрібнюватися різанням, ударом, іноді - розтиранням (після запарювання). Кожному виду подрібнення відповідає свій тип машини.

Третю і четверту технологічні схеми застосовують переважно на свинофермах.

На процес дозування соковитих кормів великий вплив мають фізико-механічні властивості кормів (насипна щільність, розміри, кут природнього укошу), а також конструктивні особливості дозуючого пристрою та інші фактори. У технологічних лініях підготовки соковитих кормів до згодовування звичайно застосовують дозатори безперервної дії. Грубе дозування може здійснюватися завантажувальними пристроями, наприклад, транспортером типу ТК-5Б. Однак у зв'язку з тим, що соковиті корми сильно відрізняються один від одного по розмірах, точне дозування цього корму виконують після його подрібнення. У більшості технологічних схем типових кормоцехів цю функцію виконує шнековий дозатор ДС-15. Однак і він має порівняно більшу погрішність дозування, яка коливається в межах $\pm 15\%$.

Для змішування соковитих кормів з іншими кормами можуть застосовуватися змішувачі різних типів. При наявності операції запарювання соковитих кормів, як правило, використовують тихохідні, горизонтальні лопатеві змішувачі періодичної дії (ВК-1, З-2, З-7, АПС-6, З-12 і т.п.) або шнекові змішувачі періодичної дії (СКО-Ф-3, СКО-Ф-6). При відсутності операції термічної обробки соковитих кормів найчастіше застосовують змішувачі безперервної дії (ИС-30, ИСК-3 і ін.). Зазначені вище змішувачі можуть використовуватися не тільки в технологічних лініях кормоцехів, але і у якості самостійних агрегатів.

Роторний подрібнювач ИС-30, що випускався в 70-х роках минулого сторіччя (рис. 1.2 а) широко використовувався в технологічних лініях змішування кормоцехів. Ця машина мала низькі енерговитрати, забезпечувала необхідну якість подрібнення коренеплодів і силосу, але практично не змінювала фракційного складу попередньо подрібнених грубих кормів.

Подрібнювач-змішувач ИСК-3 (рис. 1.2 б) використовують для доподрібнення і змішування різних компонентів при готуванні кормових сумішей, а також для подрібнення грубих кормів. Енергоємність процесу ИСК-3 більше аналогічного показника ИС-30, залежно від використовуваних

режимів, в 1,3...2, 7 рази. На погіршення цього показника впливає наявність молотків і деки. Крім того, ударний характер впливу молотків ротора на подрібнюваний матеріал сприяє безповоротній втраті клітинного соку при подрібнюванні коренеплідів. Однак ИСК-3 забезпечує кращу якість готового корму та однорідність суміші в діапазоні 72...79 % [6].

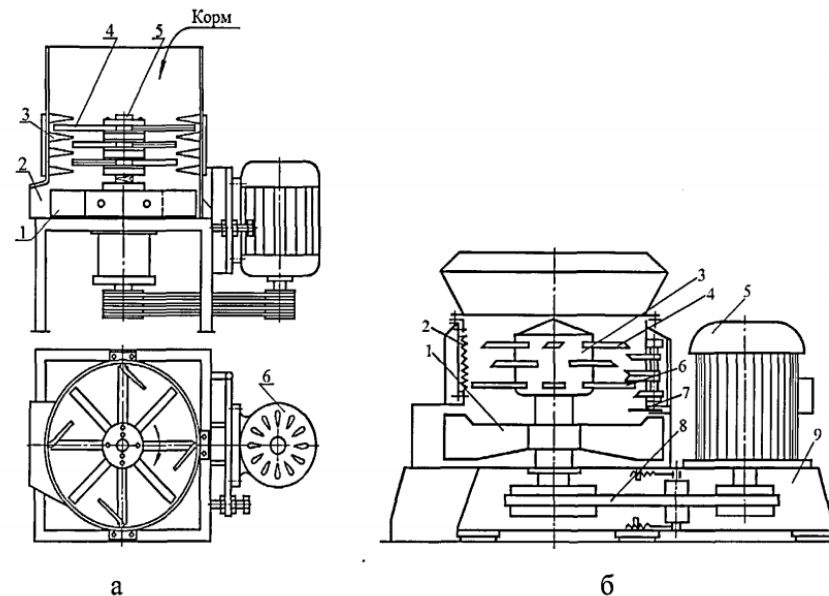


Рисунок 1.2 - Схеми подрібнювачів-змішувачів: а - ИС-30; б - ИСК-3

а: 1 - швирялка, 2 - вивантажувальне вікно, 3 - протирижучі штифти, 4 - ніж, 5 - вал, 6 - електродвигун; б: 1 - швирялка, 2 - дека, 3 - ротор; 4 - ножі, 5 - електродвигун, 6 - молотки, 7 - шибер, 8 - привод ротора; 9 – рама

Відповідно до четвертої технологічної схеми підготовки кормів до згодовування, соковиті корми після мийки надходять у спеціальні камери запарювання або запарочні агрегати типу АЗК-3 або ЗПК-4.

Там соковиті корми підлягають обробці пором протягом тривалого часу, після чого розминаються, дозуються та змішуються. Недоліками даної технології є тривалість процесу готування корму і, головне, його висока енергоємність.

Проаналізувавши існуючі лінії готування соковитих кормів до

згодовування, можна зробити висновок, що основними операціями процесу підготовки кормів до згодовування є: мийка (сухе очищення), подрібнення, дозування і змішування. Із зазначених вище операцій подрібнення - найбільш енерговитратна. Тому зниження енергоємності при подрібнюванні, зокрема, соковитих кормів дозволить значно зменшити собівартість одержуваної продукції. Крім того, економічно вигідно використовувати машини, що дозволяють одночасно виконувати кілька операцій відповідно до зоотехнічних вимог з відносно невеликими витратами енергії. Це дозволить знизити час готування однієї порції корму та підвищити продуктивність технологічних ліній кормоцехів.

1.3 Класифікація і аналіз конструкцій подрібнювачів соковитих кормів

Необхідність механізації процесу подрібнення соковитих кормів привела до створення великого числа найрізноманітніших подрібнювачів: від коренерізок з ручним приводом до сучасних високопродуктивних машин. Велика різноманітність цих пристроїв пояснюється зональними особливостями кормів, різними зоовимогами до процесу подрібнення для різних видів тварин, а також пошуками ефективних і раціональних конструкцій подрібнювачів.

Вперше промисловий випуск подрібнювачів соковитих кормів освоїли німецькі фірми “Лобенсверт” і “Фрике” наприкінці XIX століття [17]. Це були машини із циліндричними навісними барабанами (рисунок 1.3). Матеріал, що подрібнюється, транспортером 1 подавався до робочого органа, який являв собою барабан 2, на поверхні якого по утворюючій кріпилися плоскі або совочкоподібні ножі 3. Подрібнений корм викидався через вивантажувальну горловину 4.

Для інтенсифікації процесу подрібнення кормів у коренерізках фірми “Лобенсверт” був використаний подрібнюючий апарат поздовжньо-поперечного різання, що відрізняється від інших моделей послідовним

розміщенням на робочому органі ріжучих елементів, розташованих по утворюючій поверхні і криволінійних радіальних.

Барабанно-конусні робочі органи застосовувалися в подрібнювачах фірм “Пемаг” і “Мюллер”, а також у вітчизняному подрібнювачі РКР-1,5 (рисунок 1.4).

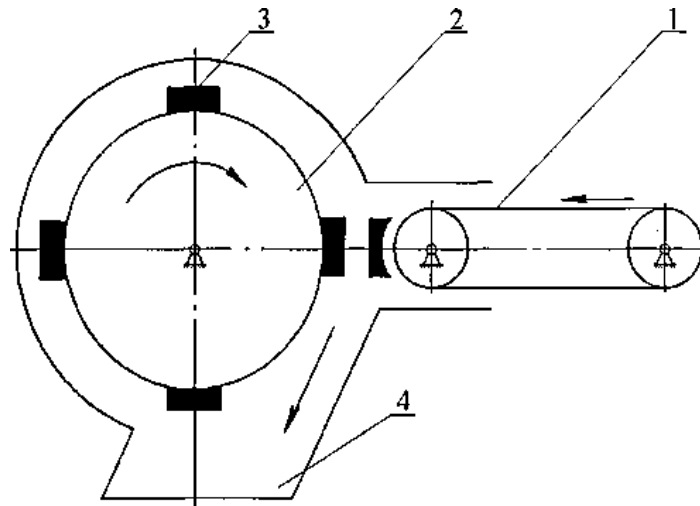


Рисунок 1.3 - Схема барабанного подрібнюючого апарата

1 - транспортер; 2 - барабан; 3 - ніж; 4 - вивантажувальна горловина

Ріжучі елементи у вигляді плоских або совочкоподібних ножів 1 розміщалися по конусній поверхні барабана 2. У ході технологічного процесу відокремлювана стружка проходить у паз між крайкою ножа і поверхнею барабана на похилу поверхню, розташовану у середині барабана, по якій стікає в лоток 3. Різний ступінь подрібнення в машинах фірм “Акра” і “Пемаг” досягалася застосуванням двох конусних барабанів, які могли працювати по паралельному і послідовному циклу.

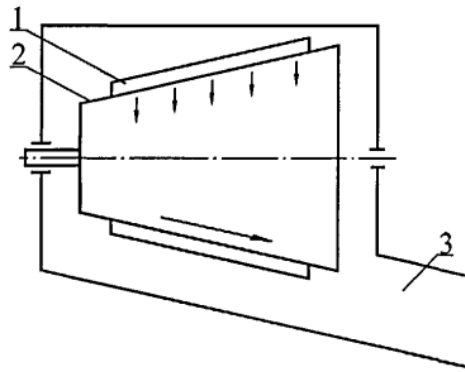


Рисунок 1.4 - Схема барабанно-конусного робочого органа

1 - ніж; 2 - барабан; 3 - лоток

Вдосконалена конструкція барабанно-конусного подрібнювача соковитих кормів запропонована С.В. Кравчуком

. Подрібнення кормів робочим органом здійснюється в такий спосіб (рисунок 1.5).

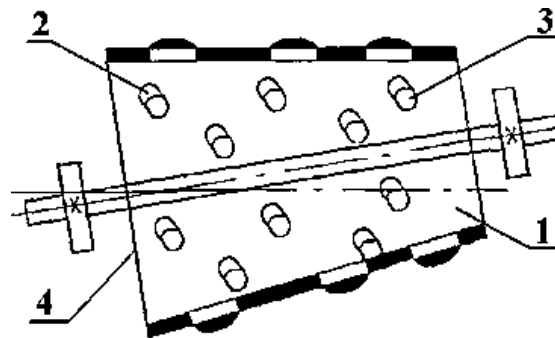


Рисунок 1.5 - Схема барабанно-конусного робочого органа

1 - барабан; 2 - ріжучий виступ; 3 - вікно; 4 – основа

На обертний подрібнючий барабан 1 з бункера подаються соковиті корми, які під впливом ріжучих виступів 2 подрібнюються. Подрібнений продукт, пройшовши через вікна 3, викидається у середину терткового барабана. За рахунок ухилу нижньої частини останнього, відбувається автоматичне видалення подрібненого продукту через відкриту основу 4 назовні. Завдяки розташуванню рядів ріжучих виступів під кутом $70\ldots 80^\circ$ до осі обертання терткового барабана здійснюється переміщення соковитих

кормів уздовж утворюючої останнього, що інтенсифікує процес подрібнення.

Досить широко поширені подрібнювачі соковитих кормів з дисковими робочими органами, які по розташуванню диска діляться на горизонтальні і вертикальні. У таких машинах плоскі або совочкоподібні ножі встановлені в пазах диска.

У вертикально-дискових подрібнювачів (рисунок 1.6) соковиті корми з бункера до робочого органа надходять самопливом. У міру відділення стружки ножами вона проходить у прорізі диска і надходить на лоток.

По цьому принципу працюють подрібнювачі вітчизняного виробництва РКР-2 і машини німецьких фірм “Ескорт” і “Лингарт”.

Ступінь подрібнення регулюється за рахунок зміни зазорів між ріжучою крайкою і поверхнею диска і перебуває в межах 5...10 мм.

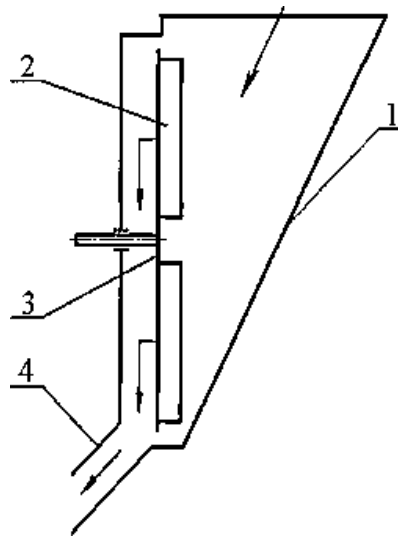


Рисунок 1.6 - Схема вертикально-дискового подрібнюючого апарата

1 - бункер, 2 - ніж; 3 - диск; 4 – лоток

Робочі органи горизонтально-дискових подрібнювачів апаратів (рисунок 1.7) складаються з одного або декількох дисків 1, у пазах яких розміщені ріжучі елементи у вигляді плоских, совочкоподібних або гребінчастих ножів 2. Для інтенсифікації процесу подрібнення застосовують другий диск із вертикально встановленими ножами 3. По такому принципу подрібнення

працюють машини КПІ-4, ИКМ-5, ИКМ-Ф-10. У ході технологічного процесу соковиті корми горизонтальними ножами подрібнюються в стружку, а за рахунок вертикальних ножів і протиріжучої деки відбувається доподрібнення.

Подібні робочі органи знайшли застосування в подрібнювачах Е-120, КПСК-1000, “Баварія”, “Бик-МКС”, “Тритшер”, “Крамер”, “Лоу”.

В останні роки розроблене багато нових і цікавих конструкцій подрібнювачів соковитих кормів з дисковими робочими органами.

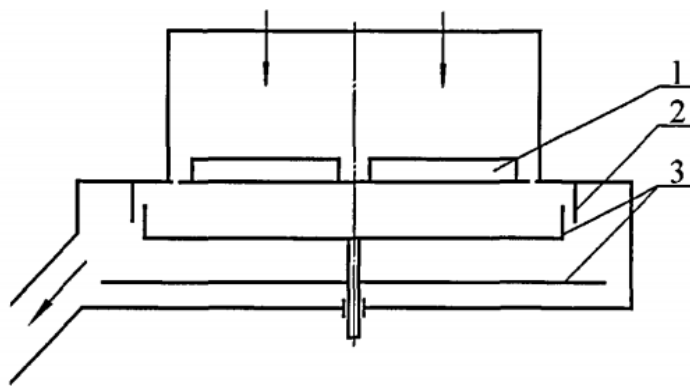


Рисунок 1.7 - Схема горизонтально-дискового робочого органа
1 - ніж; 2 - дека; 3 - диски

Наприклад, І.І. Тищенко запропонував конструкцію (рисунок 1.8), яка включає циліндричну камеру з нерухливим днищем, оснащену завантажувальною горловиною, що має вивантажувальні патрубкі і отвір. У середині камери на валу 1 закріплені з нахилом відносно днища убік їх обертання лопаті, що подають 2. У нижній частині камери ексцентрично розміщений дисковий ніж 3, закріплений на вертикальному валу 4, який встановлений по осі вивантажувального отвору.

До робочої площини лопатів, що подають, перпендикулярно прикріплені пластини 5, розташовані з нахилом відносно днища камери в сторону її осі.

Відстань між пластинами на кожній лопаті, що подає, 2 перевищує максимальний розмір соковитого корму.

При роботі подрібнювача соковиті корми, завантажені в камеру лопатями, що подають, 2 рівномірно розподіляються по днищу, і підводять

до обертового дискового ножа 3, який встановлений під днищем із зазором, рівним товщині скибочки, що відрізається. При цьому пластини 5 перешкоджають переміщенню соковитих кормів до стінки камери і сприяють їхній інтенсивній подачі до дискового ножа, що суттєво підвищує продуктивність подрібнювача.

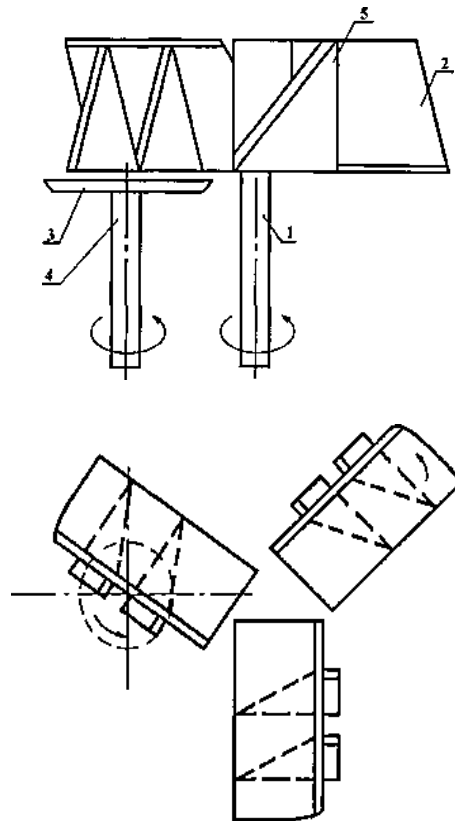


Рисунок 1.8 - Схема горизонтально-дискового робочого органа

1 – вал лопатів; 2 - лопаті, що подають; 3 - дисковий ніж; 4 - вал дискового ножа; 5 - пластини

Широке поширення в кормовиробництві одержали універсальні подрібнювачі ИКВ-Ф-5А (“Волгарь-5 А”) і КДУ-2.

Подрібнювач кормів “Волгарь-5А” призначений для тонкого подрібнення зеленої маси, силосу, коренеплодів і грубих кормів. Його відмінною рисою є два працюючі послідовно подрібнюючі апарата. Цим досягається високий ступінь подрібнення і вирівняний гранулометричний

склад готового корму (рисунок 1.9).

Процес подрібнення протікає в такий спосіб. Корм подається транспортером до ножового барабана 1, який робить попереднє подрібнення до часток розміром від 20 до 80 мм. Подрібнений корм падає на шнек і направляється в апарат вторинного різання 2, що складається з 9 рухливих і 9 нерухливих ножів. Тут корм подрібнюється до часток розміром від 2 до 10 мм [8].

Залежно від призначення корму регулювання ступеню його подрібнення роблять перестановкою рухливих ножів або зміною їх числа.

Універсальна дробарка кормів КДУ-2 (рисунок 1.10) призначена для подрібнення сипучих зернових кормів, кукурудзяних качанів, грубих кормів і коренеплодів. Робочі органи цього подрібнювача включають ріжучий 1 і молотковий 2 барабани. При подрібнюванні коренеплодів із дробильної камери виймають решета, розмикають пневмосистему і встановлюють викидну горловину з дефлектором. Подрібнений корм виноситься із дробильної камери повітряним потоком.

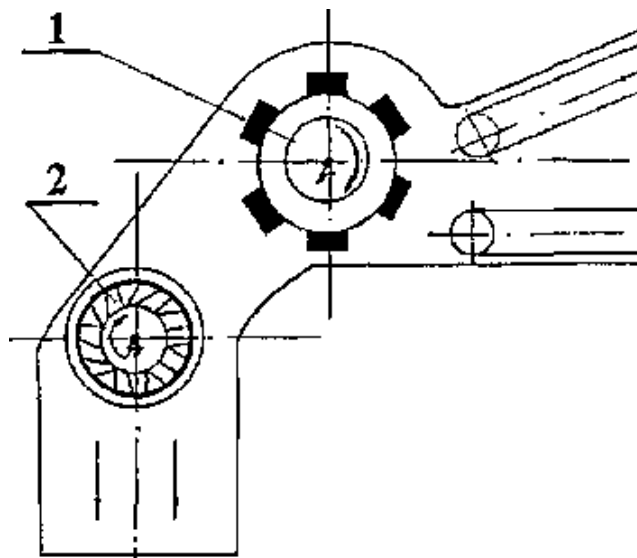


Рисунок 1.9 - Схема роботи подрібнювача ИКВ-Ф-5А «Волгарь-5А»

1 - ножовий барабан; 2 - апарат вторинного різання

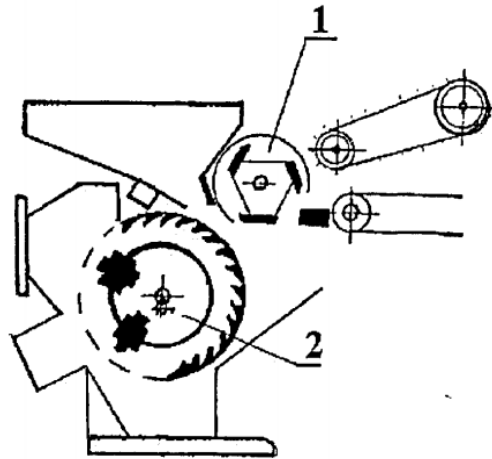


Рисунок 1.10 - Схема універсальної дробарки кормів КДУ-2

1 - ріжучий барабан; 2 - молотковий барабан

Двоступінчасті подрібнювачі “Волгарь-5А” і КДУ-2 у порівнянні з одноступінчастими мають значно більший діапазон регулювання якості подрібнення кормів, є універсальними, однак мають порівняно низьку пропускну здатність і високу енергоємність процесу подрібнення.

При роботі подрібнювача, запропонованого В.У. Городивцем, завантажені в камеру 1 соковиті корми рухаються до дискових ножів 2 напрямними лопатями 3, групуючись навколо циліндра 4 на траєкторії обертання днища 5 з ножами 2, встановленими із зазором, рівним товщині скибочки. Отримані в результаті різання корму скибочки через вивантажувальні отвори 6 падають на вивантажувальний диск 7 і лопатями 8 викидаються через отвір 9 (рисунок 1.11).

Робочий орган подрібнювача соковитих кормів і баштанних, запропонований Горюшинським В.С. і ін., складається з каркаса з консольними ножами 1. Каркас установлений на підвісках, що мають розтяжки. Ножі встановлено над транспортером 2 на висоті, рівної 1,5...2 висоти пальців транспортера, чим досягається більш якісний поділ переміщуваного продукту на частки, близькі по розміру. У процесі роботи подаваний продукт транспортером 2 переміщається під ножовою ділянкою, де подрібнюється і скидається на лоток (рисунок 1.11).

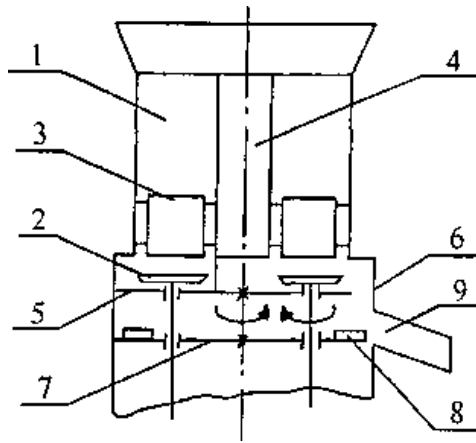


Рисунок 1.11 - Схема горизонтально-дискового подрібнювача соковитих кормів з обертовим днищем

1 - камера подрібнення, 2 - напрямна лопать; 3 - дисковий ніж; 4 - циліндр; 5 - обертове днище; 6 - вивантажувальний отвір; 7 - вивантажувальний диск; 8 - лопать; 9 - вивантажувальна горловина

Подрібнювач соковитих кормів, запропонований В.Г. Фарносовим, містить бункер, дно якого утворено тертковим транспортером 1 із закріпленими на його ланцюгах 2 ріжучими пластинами 3. При обертанні транспортера ланцюги 2 переміщують пластини 3. Ріжучі виступи 4 пластин 3 зрізують частки корму у вигляді окремих стружок, які через отвори попадають у місце вивантаження. Після виводу пластини 4 з бункера вона займає вертикальне положення на нижній галузях транспортера 1 і в взаємодії з демпфером. При ударі об демпфер матеріал струшується, і пластини 3 очищаються (рисунок 1.13).

Робочий орган подрібнювача соковитих кормів, запропонований А.Н. Бочаровим, виконаний у вигляді конічного шнека, оснащеного механізмом привода. Стінка робочої камери корпусу виконана з ріжучих елементів, розташованих між собою із зазором, що мають форму кілець, верхні частини яких загострені (рисунок 1.14).

При подрібнюванні соковиті корми завантажуються через горловину в корпус 1, де захоплюються обертовим шнеком 2 і переміщують його навивкою вниз. У верхній частині корпусу відбувається ущільнення соковитих кормів, а

в зоні робочої камери 3 здійснюється їхній рух в ущільненому стані щодо ріжучих елементів 4, якими соковиті корми подрібнюються.

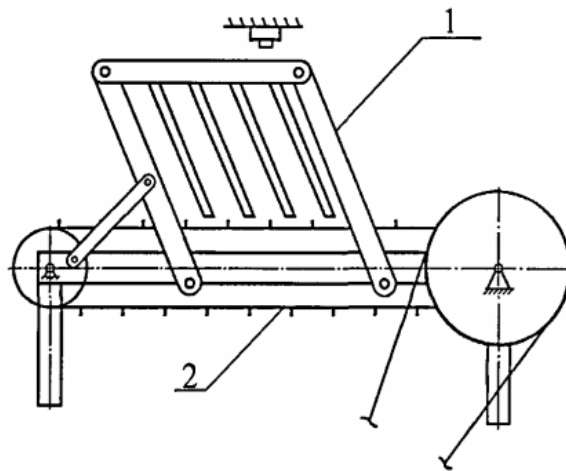


Рисунок 1.12 - Схема подрібнювача соковитих кормів і баштанних транспортерно-ножового типу

1 - каркас із консольними ножами; 2 - транспортер

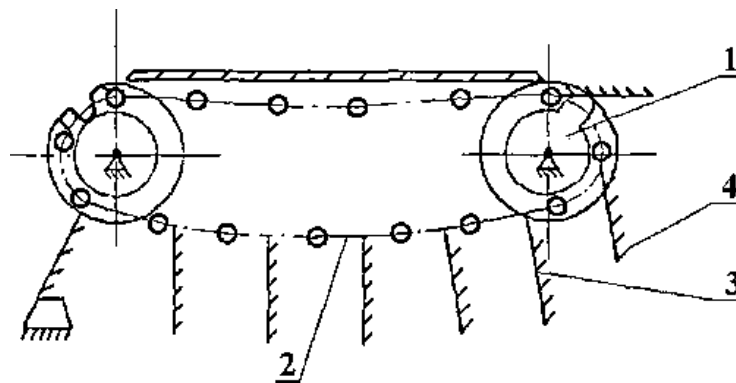


Рисунок 1.13 - Схема ланцюгово-пластинчастого подрібнювача

1 - тертковий транспортер; 2 - ланцюг; 3 - ріжуча пластина; 4 - ріжучі елементи

Подрібнювач соковитих кормів, запропонований О.І. Прокоповим і Ф.Г. Плоховим містить у собі корпус 1, який складається із двох половин і оснащений завантажувальною горловиною 2 і вивантажувальною горловиною 3. Усередині однієї з половин корпусу 1 розміщений шнек, що подає, 4, а усередині іншої - вивантажувальний шнек 5. Вивантажувальний і подаючий

шнеки виконані двохзахідними зустрічно-обертovими із протилежним напрямком витків. Між шнеками 4 і 5 установлений ріжучий пристрій, який виконаний у вигляді ножа 6, оснащеного додатковими ріжучими елементами 7 і закріплений на торці вивантажувального шнека перпендикулярно його геометричній осі (рисунок 1.15).

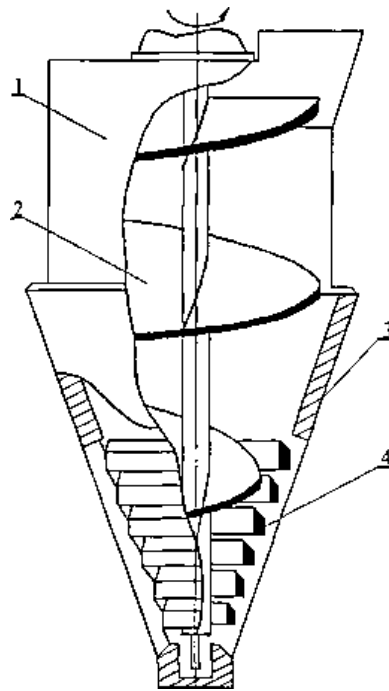


Рисунок 1.14 - Схема вертикального шнекового подрібнювача
1 - корпус; 2 - шнек; 3 - робоча камера; 4 - ріжучий елемент

При роботі подрібнювача шнеки приводяться в зустрічне обертання і втягують у загальне поздовжнє переміщення корм усередині корпуса від завантажувальної горловини 2 до вивантажувальної горловини 3. Шнек 4 подає корм, що завантажують у зону роботи ріжучого пристрою, де соковиті корми в різних площинах подрібнюються ножом 6 і додатковими ріжучими елементами 7, які взаємодіють із кільцевими канавками 8. Якісне подрібнення забезпечується за рахунок защемлення корму між зустрічно обертovими ріжучими елементами 7 і краями кільцевих канавок 8, його зминанням і перерізанням. Подрібнений корм вивантажувальним шнеком 5 направляється до вивантажувальної горловини 3.

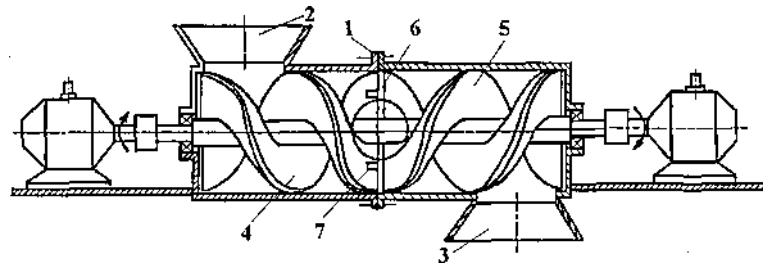


Рисунок 1.15 - Схема горизонтального шнекового подрібнювача
 1 - корпус; 2, 3- завантажувальна і вивантажувальна горловини; 4, 5 -
 подаючий і вивантажувальний шнеки; 6 - ніж; 7 - ріжучі елементи; 8 -
 кільцеві канавки

Подрібнювач соковитих кормів, запропонований Б.В. Кононовим, містить у собі ріжучий барабан 1 (рисунок 1.16) з ножами 2, завантажувальне вікно і розвантажувальну горловину, пневматичний балон 3, механізм видалення домішок, який складається з кожуха 4 і шнека 5.

При обертанні барабана 1 і балона 3 останній проштовхує соковиті корми через ножі, і вони розрізають їх на скибочки. Далі скибочки попадають на додаткові ножі 6, які перерізують їх поперек на стружку. При вступі в зону різання каменів 7, які вимагають більшого зусилля для проштовхування, ніж соковиті корми, балон деформується і подає їх у зону видалення.

У цей час широко поширені роторні подрібнювачі соковитих кормів, які по розташуванню робочого органа діляться на вертикально-роторні - ИСК-3 (рисунок 1.17) і горизонтально-роторні - ИКС-5М, АПК-10А, ИРМ-15 і ИРМ-50.

З метою розширення технологічних можливостей і підвищення якості В.Т. Фартушним був запропонований подрібнювач, що містить утворюючу камеру подрібнення, циліндр 1, встановлений з роторним робочим органом у вигляді конуса 2 з можливістю вертикального переміщення. На робочих поверхнях циліндра 1 і конуса 2 закріплені ножі 4, встановлені на конусі по спадній гвинтовій лінії (рисунок 1.17).

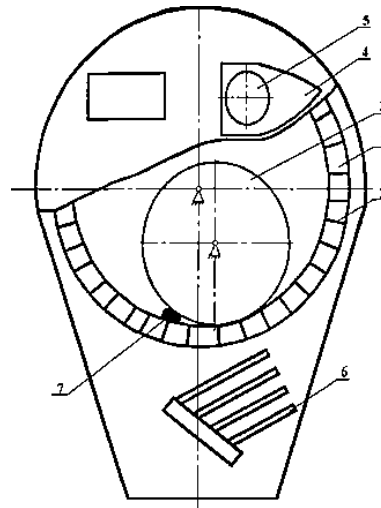


Рисунок 1.16 - Схема барабанно-ножового подрібнювача

1 - ріжучий барабан; 2 - ніж; 3 - пневматичний балон; 4 - кожух; 5 - шнек; 6 - додатковий ніж

Соковиті корми завантажуються в камеру подрібнення. При обертанні конуса 2 маса, переміщаючись зверху вниз, зазнає впливу ножів 4, закріплених на конусі 2 і циліндрі 1. Подрібнений продукт рухається по спадній гвинтовій лінії під впливом власної ваги і попадає на диск 7. Обертаючись, диск 7 відкидає продукт в равликоподібний кожух 9, з якого подрібнена маса виводиться під дією відцентрових сил і сил інерції назовні.

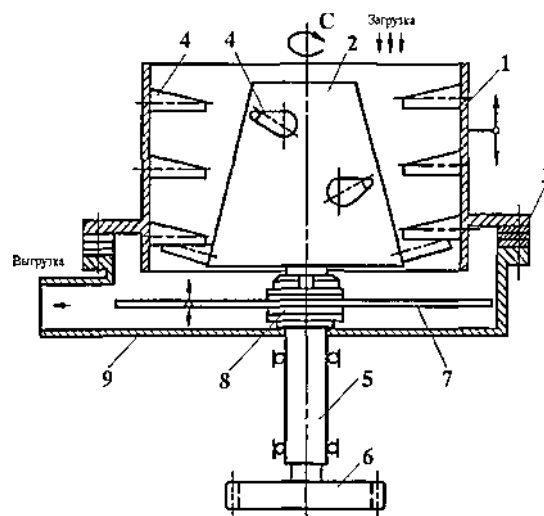


Рисунок 1.17 - Схема подрібнювача кормів з конусним робочим органом
1 - циліндр; 2 - конус; 3, 8- прокладки; 4 - ножі; 5 - вал; 6 - зубчаста передача;
7 - диск; 9 - равликоподібний кожух

З метою спрощення конструкції і підвищення технологічних якостей В.П. Глухих був запропонований подрібнювач кормів, який складається із циліндричного корпусу 1 з вивантажувальним вікном 6, ротора 2 з ножами 3 г-подібної форми і протиріжучого елемента 5, розміщених у корпусі в одному з його торців, а також прийомного бункера 4, встановленого з іншого торця корпусу (рисунок 1.18).

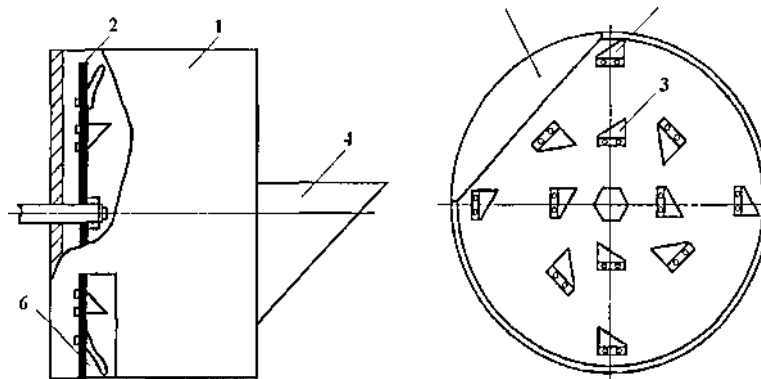


Рисунок 1.18 - Роторний подрібнювач кормів
1 - корпус; 2 - ротор; 3 - ножі; 4 - бункер; 5 - протиріжучий елемент; 6 - вивантажувальне вікно

Вихідний матеріал, який завантажується в бункер 4 затягається усередину корпусу 1 під впливом повітряного потоку, створюваного ножами 3 ротора 2, подрібнюється ножами 3 і ними ж викидається через вікно 6 назовні. Таке конструктивне виконання машини дозволяє подрібнити вихідний матеріал з підвищеним вмістом мінеральної частини, наприклад такий, як торф і рослинність болотних купин.

Руйнуючими елементами робочих органів у роторних подрібнювачах є молотки і ножі. Однак, через ударний характер впливу молотків ротора на матеріал, що подрібнюється, відбувається безповоротна втрата клітинного соку. З метою зменшення втрат соку А.Д. Безпамятновим був запропонований горизонтально-роторний подрібнювач, під вікнами деки якого виконані піддони за формою протиріжучих пластин (рисунок 1.19).

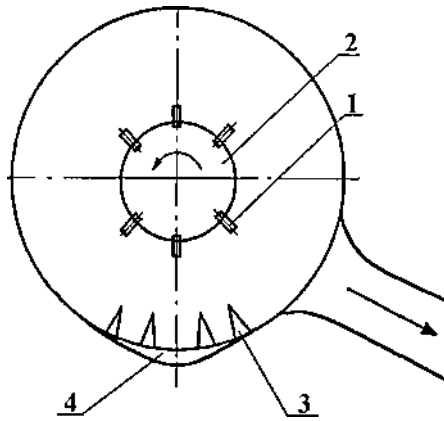


Рисунок 1.19 - Схема горизонтально-роторного робочого органа

1 - молоток; 2 - ротор; 3 - протирижуча пластина; 4 - піддон

Корми захоплюються молотками 1 подрібнюючого ротора 2 і перерізуються щодо протирижучих пластин 3. При попаданні з кормом твердих предметів навантаження на пластини різко зростає, внаслідок чого пластини, долаючи дію пружин, повертаються разом із власною віссю і потопають у піддонах 4. При повороті потилична частина пластини розсовує корм, що скопився в піддонах, який разом із соком викидається у вивантажувальний трубопровід. Після проходження твердого предмета пластини під дією пружин вертаються у вихідне робоче положення.

Незважаючи на багато позитивних характеристик існуючих подрібнювачів соковитих кормів, завжди є перспектива поліпшення їх техніко-економічних показників. Основний напрямок у розвитку конструкцій - це вдосконалювання робочих органів подрібнювачів і зниження їх енергоємності.

На підставі проведеного аналізу конструкцій, робочих органів і технологічних схем подрібнюючих апаратів пропонуємо класифікувати подрібнювачі соковитих кормів за наступними ознаками:

- за призначенням;
- за розташуванням робочого органа;
- за видом виконуваних операцій;
- за числом ступенів подрібнення;
- за кількістю площин різання;

- за типом ріжучого апарата;
- за видом різання;
- за конструкцією робочого органа;
- за видом протиріжучої частини;
- за способом кріплення руйнуючого елемента;
- за способом подачі сировини;
- за способом вивантаження подрібненої маси.

Пропонована класифікація (рисунок 1.20) дозволяє оцінити конструктивні особливості подрібнювачів і їх робочі органи із урахуванням виявлених переваг і недоліків визначити напрямок пошуку найбільш раціональної конструктивно-технологічної схеми подрібнюючого апарата, що забезпечує мінімальну енергоємність процесу подрібнення при відповідності приготовленого корму зоотехнічним вимогам.

У таблиці 1.1 наведені характеристики існуючих конструкцій подрібнювачів.

Марка подрібнювача	Спосіб подрібнення	Швидкість робочих органів, м/с	Продуктивність, т/год	Наявність часток розміром 3...5 мм, %	Питома витрата енергії, кВт-год/т
РКР-2	Різання	1,2...6,3	2,9	33,1	0,35
МРК-5	Різання	4,3	3,4	35,0	0,68
КПСК-1000	Різання	6...20	4,7	54,0	0,54
КПІ-4	Різання	4...25	4,1	84,0	1,2
ІКМ-5	Різання	4...25	6,7	86,0	1,29
ІКС-5	Удар	40	5,7	61,0	1,37
Волгар-5	Різання	17,6	7,5	70,0	1,2
КДУ-2	Різання, удар	71,3	6,5	46,0	3,3
ІРМ-50	Удар	41,8...83,6	37,3...78	100	2,4...3,1
АПК-10А	Удар	30...50	5...12	60,3	4,1...5,6
КР-03	Різання	4...25	10	80,0	0,61

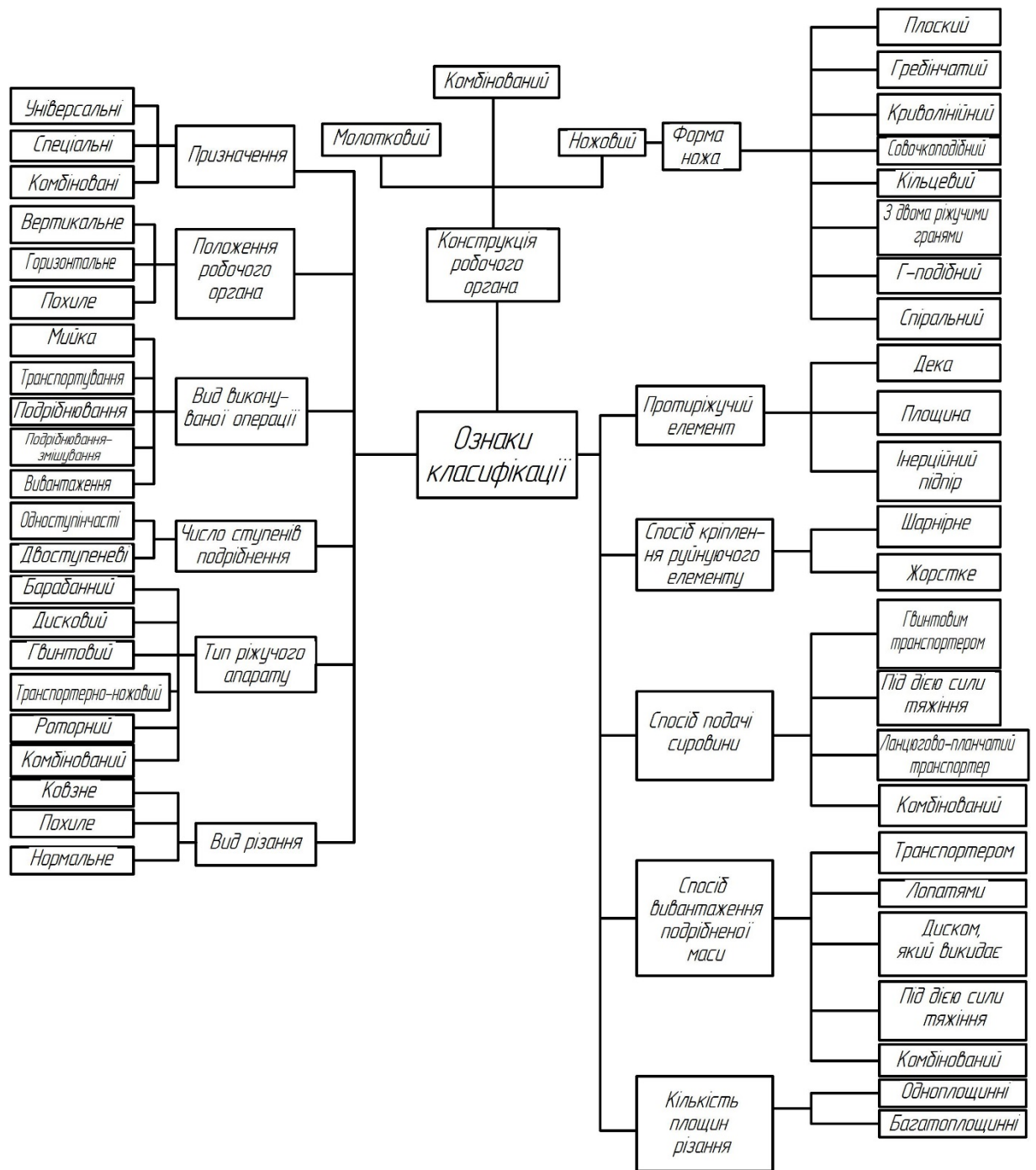


Рисунок 1.20 - Класифікація подрібнювачів соковитих кормів

Аналізуючи наведені в таблиці 1.1 дані можна відзначити наступне:

- подрібнювачі КПИ-4, ИКМ-5, КР-03; КПСК-1000 готують корм відповідно до зоотехнічних вимог;
- мінімальною енергоємністю мають подрібнювачі різання, що працюють за принципом: РКР-2, МРК-2, КПИ-4, ИКМ-5, КР-03, КПСК-1000;
- мінімальною енергоємністю при високій якості корма, що готують,

мають подрібнювачі з ножовими робочими органами;

- значною енергоємністю відрізняються подрібнювачі, що працюють за принципом удару: ИРМ-15; ИРМ-50; КДУ-2; ИКС-5М; АПК- 10А.

Крім того, при взаємодії молотків ротора з матеріалом, що подрібнюється, виділяється в більших кількостях клітинний сік соковитих кормів, який губиться при транспортуванні і зберіганні. Тому подрібнений корм не повною мірою відповідає зоотехнічним вимогам.

Проведений аналіз конструкцій подрібнювачів соковитих кормів дозволив зробити наступні висновки:

- процес подрібнення соковитих кормів вимагає більших витрат енергії та до кінця не досліджений, незважаючи на велику кількість робіт, присвячених цієї темі і різноманіттю конструкцій робочих органів, а також машин у цілому, призначених для переробки кормових матеріалів; це приводить до того, що енерговитрати на подрібнення соковитих кормів можуть досягати 38 % від сукупних витрат енергії на готування кормів;

- якісні показники обробленого існуючими подрібнювачами корму часто не відповідають зоотехнічним вимогам; у більшості випадків спостерігаються переподрібнення соковитих кормів або безповоротні втрати клітинного соку;

- подрібнення лезовими робочими органами переважніше внаслідок менших енерговитрат і збереження в подрібненому матеріалі клітинного соку.

1.4 Мета і завдання дослідження

Криза галузей тваринництва змушує шукати нові конструкції кормообробних машин і їх робочих органів, маючи основними цілями енерго-, ресурсо- і трудозберігання. У світовій практиці сільського господарства очевидний перехід до нових технологій і конструктивно-технологічним схемам засобів механізації процесів сільськогосподарського виробництва. З обліком вищевикладеного, удосконалювання технології обробки соковитих кормів на основі застосування перспективної конструкції подрібнювача

соковитих кормів, що поєднує низьку енергоємність процесу подрібнення, висока якість одержуваного продукту при заданій продуктивності, є актуальним і важливим народногосподарським завданням.

Робочі органи подрібнювача функціонують у взаємозв'язку з іншими операціями технологічного циклу підготовки соковитих кормів до згодовування, що накладає відповідні обмеження на його параметри, при обов'язковій відповідності якості подрібненого корму зоотехнічним вимогам.

Метою роботи є розробка перспективної конструктивно-технологічної схеми подрібнювача соковитих кормів, що забезпечує високу якість подрібнення при мінімальних питомих витратах енергії і максимальній пропускній здатності.

Відповідно до мети роботи поставлені наступні завдання дослідження:

- на основі аналізу конструкцій засобів механізації подрібнення соковитих кормів розробити конструктивно-технологічну схему подрібнювача соковитих кормів, що забезпечує високу якість подрібнення при мінімальних питомих витратах енергії і необхідній пропускній здатності;
- досліджувати фактори, що виявляють вплив на технологічний процес подрібнення соковитих кормів і одержати аналітичні вираження для їхнього визначення;
- уточнити фізико-механічні характеристики кормових матеріалів, що подрібнюються і визначити зусилля їх різання при різних кутах установки ножа до напрямку діючої сили, а також розробити програму для визначення характеристик міцності соковитих кормів за допомогою ЕОМ;
- розробити заходи з охорони праці малогабаритного подрібнювача соковитих кормів;
- одержати математичну модель процесу подрібнення соковитих кормів в подрібнювачі обраного типу і оптимізувати його конструктивно-режимні параметри;
- оцінити економічну ефективність пропонованого подрібнювача соковитих кормів.

2 Теоретичне обґрунтування конструктивно - режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів

2.1 Обґрунтування параметрів робочого органу

На основі проведеного аналізу конструкцій подрібнювачів соковитих кормів можна зробити висновок, що краща якість приготовленого корма при меншій енергоємності забезпечують подрібнювачі, що працюють за принципом різання. Тому, у якості руйнуючих елементів приймаємо ножі напівкруглої форми, величина відгину ріжучих крайок яких дорівнює необхідній товщині різання. Вибір напівкруглої форми пояснюється двома аспектами.

1. Ніж напівкруглої форми вирізує з кормового матеріалу стружку максимальної площі поперечного перерізу при мінімальній довжині ріжучої крайки. Це забезпечує високу продуктивність при малій енергоємності, тому що сила різання прямо пропорційна довжині леза:

$$P_{\text{різ}} = f(\Delta l); \quad (2.1)$$

2. Мінімальною концентрацією напруг на робочій поверхні барабана, отже, довговічністю робочого органу.

Обрані ріжучі елементи необхідно найбільше раціонально розмістити на робочій поверхні барабана. Правильне розміщення ножів повинне забезпечити рівномірний вплив робочого органу на кормовий подрібнюваний матеріал, сталість частоти обертання барабана.

Для виконання цих умов розміщуємо ріжучі елементи на робочій поверхні барабана по розгортці багатогодового гвинта. Раціональність такої форми обумовлюється ще однією додатковою вимогою: кожний ріжучий елемент залишає на кормі, що подрібнюється, свій слід. Випадки, коли два або більш ножа йдуть по одному сліду, повторюються тільки через певний кут

повороту барабана.

Перш ніж вивести загальне правило, на підставі якого зазначені вище вимоги виконуються, відзначимо ряд властивостей ножового поля, одержуваного при розгортці багатоходового гвинта на площину, коли на кожній гвинтовій лінії рівномірно розміщені ріжучі елементи.

Ножове поле подрібнювача побудуємо в такий спосіб.

Позначимо крок гвинта через t (рисунок 2.2) і через L - повну довжину розгорнутої лінії, відповідної до кроку t .

Число ходів гвинта - K .

Нехай n - число ріжучих елементів на довжині L ; ріжучі елементи розміщені рівномірно, і відстань (уздовж по розгорненню гвинта) між суміжними елементами визначається по вираженню:

$$l=L/n \quad (2.2)$$

Так як гвинтові лінії в багатоходовому гвинті зрушені один від одного на однакову відстань, то при K ходах відрізків, відповідний до кроку t на утворюючій циліндра, розділиться на K частин, довжина кожної з яких:

$$b =t/ K. \quad (2.3)$$

Максимальне число проміжків, утворених слідами від кожного ріжучого елемента на відрізьку b (рисунок 2.2), буде дорівнювати числу ріжучих елементів n , розміщених на розгортці L .

Маючи на увазі, що ріжучі елементи рівномірно розміщені на кожній гвинтовій лінії, тобто всі перші ріжучі елементи перебувають на утворюючій 1-1, другі - на утворюючій 2-2 і т.д., то перші ріжучі елементи можна об'єднати однієї утворюючої барабана, другі - іншої і т.д. і останні n_i елементи можна об'єднати N_i утворюючої барабана подрібнювача.

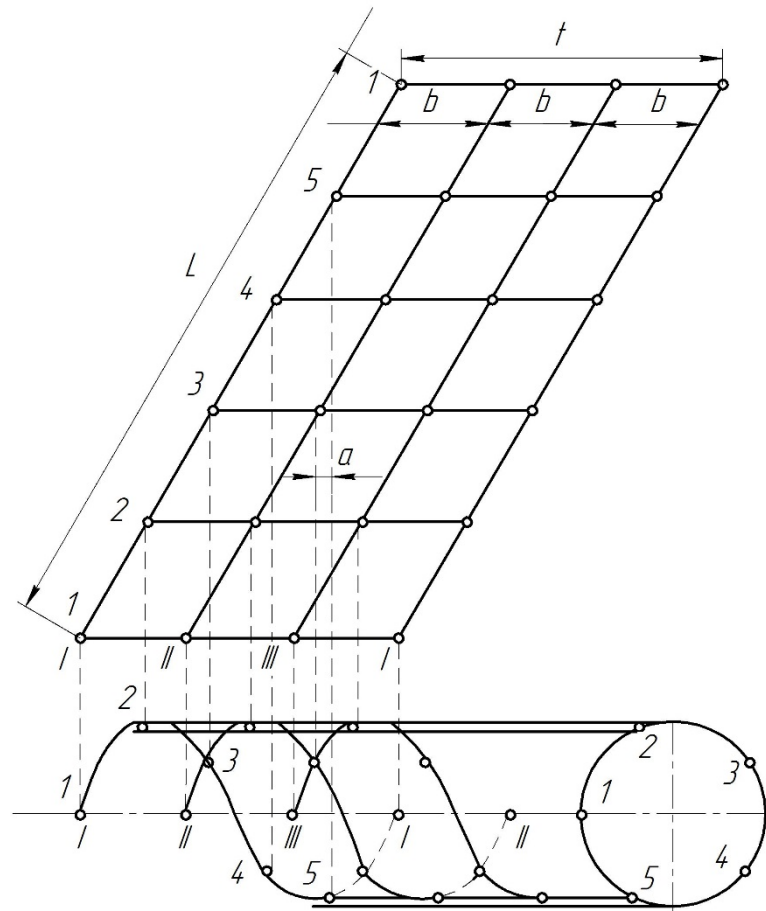


Рисунок 2.2 - Утворення ножового поля подрібнювача

Таким чином, число утворюючих буде N , отже, найбільше число проміжків на відріжку b буде дорівнювати числу утворюючих, тобто N .

Якщо позначити величину проміжку α , то

$$b = N \alpha = t / K; \quad (2.4)$$

звідси

$$t = bK = N \alpha K, \quad (2.5)$$

тобто найбільше число проміжків на відріжку, рівному кроці гвинта, буде NK .

Звернемося тепер до розгортки барабана подрібнювача (рисунок 2.3).

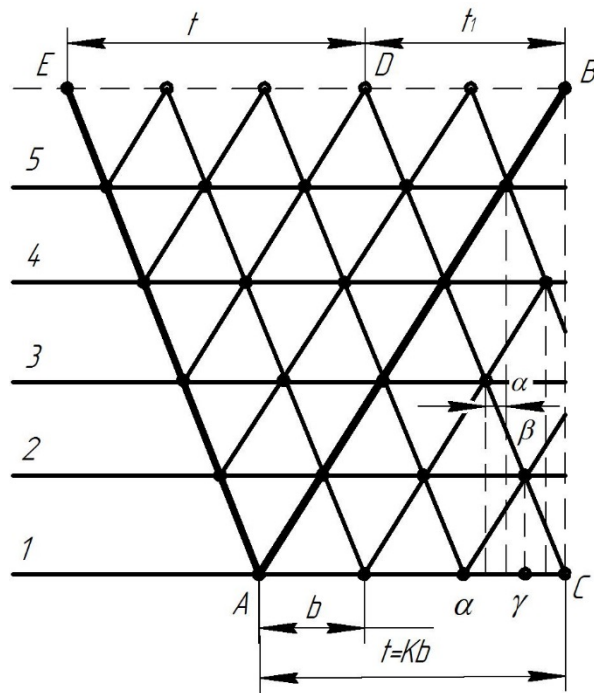


Рисунок 2.3 - Розміщення ножів на подрібнюючому барабані при N утворюючих і K ходах ($N > K$)

Внаслідок того, що місце ріжучих елементів визначається перетинанням похилих ліній розгортки (лінія AB і паралельні їй) і утворюючих (між собою також паралельні), причому ці лінії віддалені один від одного на відповідні відстані, то можна, якщо розгорнути гвинт необмеженої довжини, все ножове поле покрити ріжучими елементами, які розіб'ють його на рівні трикутники. Сторони цих трикутників є утворюючими і двома похилими прямими, з яких одна (AB) є розгорткою основного гвинта, інша - прямій CD , яка може бути визначена як розгортка іншого (зворотного) гвинта, з протилежним ходом.

Відзначимо зв'язок між величинами, що визначають ножове поле.

1. З рисунка 2.3 видно, що $BE = t + t_1 = Nb$, де t_1 - крок протилежного основному гвинта; беручи до уваги, що $t = Kb$ і $t_1 = K_1b$, де K_1 - число ходів гвинтової лінії протилежного напрямку, одержуємо:

$$K + K_1 = N, \quad (2.6)$$

тобто сума ходів основної і протилежної по напрямку гвинтових ліній дорівнює числу утворюючих ножового поля барабана подрібнювача.

2. З подібності трикутників ABC і $\alpha \beta \gamma$, а також трикутників $ВДС$ і

$уС \beta$ випливає:

$$\frac{t}{\alpha\gamma} = \frac{t_1}{\gamma C} = N \quad (2.7)$$

або

$$\frac{\gamma C}{\alpha\gamma} = \frac{t_1}{t} = \frac{K_1}{K}. \quad (2.8)$$

Таким чином, слід, проведений яким-небудь ріжучим елементом на подрібненому матеріалі, ділить проміжок між наступною за ним парою ріжучих елементів на відрізки, пропорційні числам K_1 і K .

З останнього відношення випливає, що

$$\frac{\alpha\gamma + \gamma C}{\alpha\gamma} = \frac{K_1 + K}{K} \quad (2.9)$$

Або

$$\frac{b}{\alpha\gamma} = \frac{N}{K}. \quad (2.10)$$

Звідси

$$\alpha\gamma = K \frac{b}{N} = Ka \quad (2.11)$$

$$\gamma C = b - Ka = (N - K)a = K_1 a. \quad (2.12)$$

Таким чином, числа проміжків (a) на відрізках $\alpha\gamma$ і γC прилеглих до основної і додаткової розгорткам, рівні відповідно числам K і K_1 .

3. Якщо розміщення ріжучих елементів таке, що по одному сліду проходять μ ріжучих елементів, то очевидно, що на відріжку $aC = b$ буде не N слідів, а

$$m = \frac{N}{\mu}, \quad (2.13)$$

де m - число ціле, так що $N = m\mu$.

Для цього випадку співвідношення (2.12) можна записати у вигляді:

$$\gamma C = (m\mu - K)a = (m - K / \mu)a\mu, \quad (2.14)$$

де $\mu a = a_\mu$ - проміжок;

$(m - K / \mu)$ - число таких проміжків, це число повинне бути цілим, а тому K повинне бути кратне μ .

Отже, якщо по кожному сліду проходить μ ріжучих елементів, то ножове поле побудоване по розгортці, у якій число N утворюючих і число K ходів кратні числу μ ; справедливо буде і зворотне: якщо числа N і K мають загальний множник μ , то μ ріжучих елементів будуть йти по тому самому сліду.

4. Співвідношення чисел N і K може бути різним.

Загалом можна передбачити три випадки:

$$\begin{aligned} N &\succ K, \\ N &= K, \\ N &\prec K. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Для числа K_1 відповідно будуть збережені такі значення:

$$\begin{aligned}
 K_1 &= N - K > 0, \\
 K_1 &= 0, \\
 K_1 &< 0.
 \end{aligned}
 \tag{2.16}$$

Для зазначених трьох випадків напрямок додаткової розгортки буде різним. Виділимо трикутник $\alpha\beta_1C$ по рисунку 2.4. Сторона $C\beta_1$ цього трикутника визначає напрямок додаткової розгортки; відзначимо цей напрямок кутом φ_1 ; тоді, враховуючи (2.12),

$$\gamma C = K_1 a = C\beta_1 \cos \varphi_1 \tag{2.17}$$

і

$$\cos \varphi_1 = K_1 \frac{a}{C\beta_1}. \tag{2.18}$$

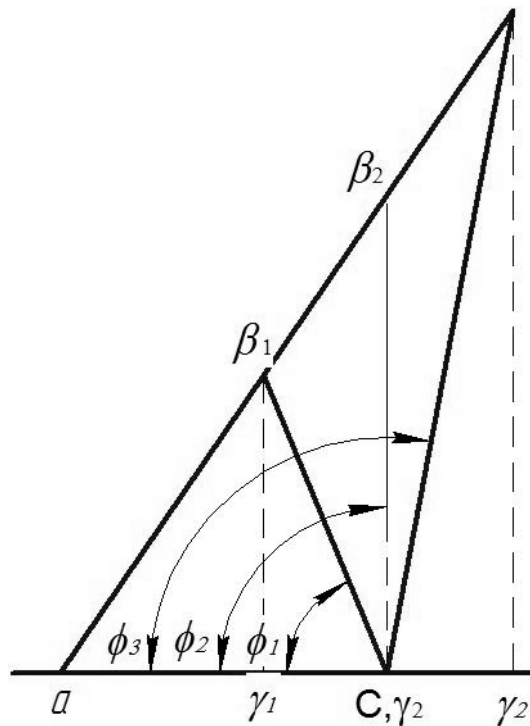


Рисунок 2.4 - Співвідношення геометричних параметрів ножового поля

Отже, для першого випадку ($K_1 > 0$) будемо мати: $\cos \varphi_1 > 0$, тобто

$0 < \varphi_1 < 0,5\pi$ і кут φ_1 - гострий; для другого випадку ($K_1 = 0$): $\cos \varphi_2 = 0$;
 $\varphi_2 = \frac{\pi}{2}$; трикутник $\alpha\beta_2C$ прямокутний, тобто ріжучі елементи, розташовані
у вершинах β_2 і C , підуть по одному сліду.

Для третього випадку ($K_1 < 0$): $\cos \varphi_3 < 0$; $0,5\pi < \varphi_3 < \pi$;
трикутник $\alpha\beta_3C$ тупокутний.

У цьому випадку з рисунка 2.4 можна бачити, що

$$\alpha\gamma_3 = \alpha C + C\gamma_3 = b + K'_1 a = Ka, \quad (2.19)$$

де K'_1 - різниця між основним числом ходів гвинта і числом утворюючих барабана подрібнювача.

Звідси

$$K'_1 = \frac{Ka - b}{a} = K - N. \quad (2.20)$$

Отже, якщо число K більше N , то ножове поле може бути побудоване по числу $K_1 = K - N$, яке по величині менше N . Таким чином, немає необхідності розглядати випадок, коли $N < K$.

Наприклад, якщо $N = 5$, $K = 7$, то $K'_1 = 2$. Приймаючи K'_1 за основне число ходів, будемо мати: $K = 2$; $K_1 = N - K = 3$.

Можна відзначити, що ножове поле виходить однаковим як для $K = 7$, так і для $K = 2$, якщо ріжучі елементи розташовані на $N = 5$ утворюючих ножового поля.

По рисунку 2.5 видно, що для $K = 7$ розгорткою служить пряма AB ; для $K'_1 = 2$ розгорткою служить $5B$, а для $K = 3$ розгорткою служить $5B''$, причому $3\beta', 4\beta'$ є діагоналями, а $3\beta'$ - стороною того ж самого паралелограма $3\beta'\beta''4$. Зазначені міркування дають підставу завжди вибирати число ходів K менше числа утворюючих ножового поля.

Відповідно до наведених вище теоретичних передумов розміщаємо ріжучі елементи на робочій поверхні барабана подрібнювача по розгортці багатогодового гвинта, приймаючи число ходів основного гвинта $K = 3$, зворотного гвинта $K_1 = 1$, тоді відповідно до вираження (2.6) число утворюючих N дорівнює 4.

Важливими параметрами є відстань l уздовж по розгортці гвинта між ріжучими елементами; b - відстань між ними на утворюючій (рисунок 2.5). Ці параметри обмежені як з боку максимуму, так і з боку мінімуму.

Якщо l і b будуть великі, то, відповідно, на робочій поверхні барабана буде розміщено мале число ріжучих елементів, що знизить продуктивність подрібнювача.

З іншого боку, якщо l і b будуть малі, то виникає небезпека руйнування робочої поверхні, тому що ріжучі елементи виконуються методом пластичного деформування. При малих l і b деформації можуть накладатися один на одного, що приведе до жолоблення робочої поверхні і недовговічності її роботи, а в екстремальному випадку - руйнуванню на стадії виготовлення.

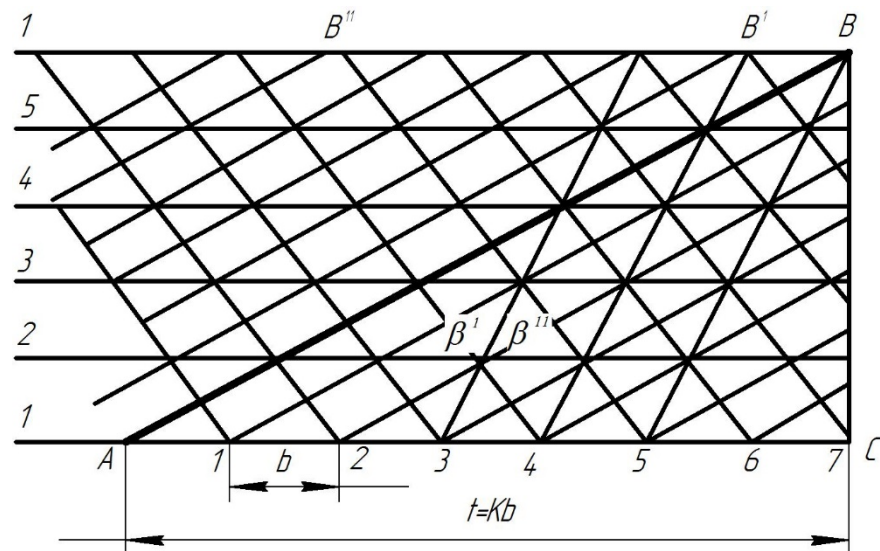


Рисунок 2.5 - Ножове поле при N утворюючих і K ходах ($N < K$)

У результаті пошукових дослідів були визначені мінімально допустимі значення параметрів l і b для великої рогатої худоби $l_{\min} = 28$ мм, $b_{\min} = 27$ мм (при $\alpha = 25^\circ$). Однак, при мінімальних значеннях l і b розміщення ріжучих

елементів може виявитися відмінним від оптимального через зайве перекриття.

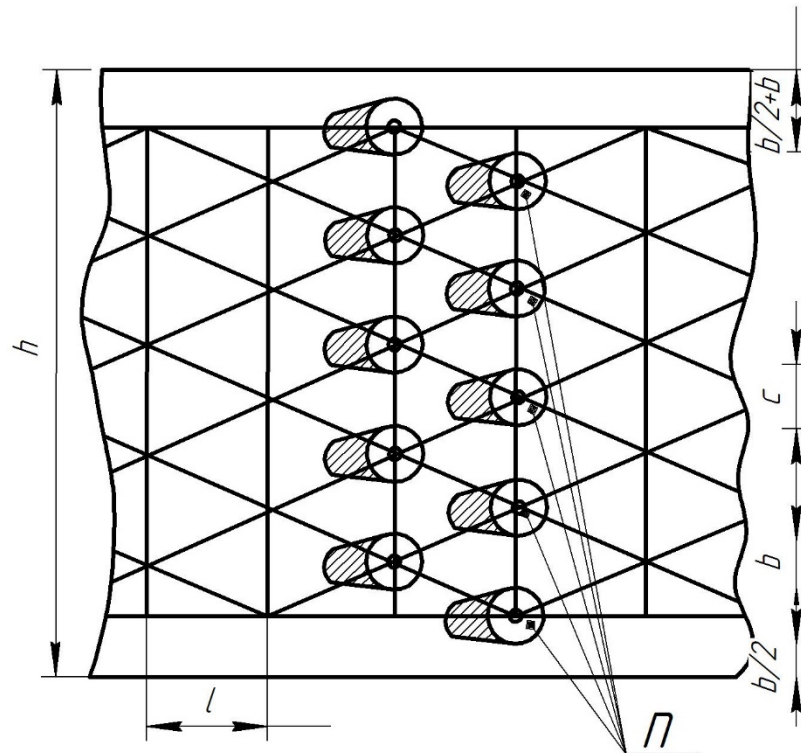


Рисунок 2.6- Схема розміщення ріжучих елементів на робочій поверхні барабана

Тому програмою експериментальних досліджень (розділ 3) передбачалося проведення лабораторних дослідів при різних кутах розташування ріжучих елементів (при цьому відповідно змінювався параметр b), Однак, відстань між ріжучими елементами уздовж розгортки гвинта - параметр l - у всіх випадках прийнято рівним l_{\min} .

2.2 Взаємодія робочого органа з матеріалом, що подрібнюється

Робочий процес пропонованого подрібнювача соковитих кормів полягає в тому, що циліндричний барабан, обертаючись навколо своєї горизонтальної осі, взаємодіє з безупинно потрапляючими в подрібнюючий апарат

соковитими кормами, які защемляються між робочою поверхнею барабана і поверхнею завантажувального бункера, де подрібнюються ріжучими елементами.

Для забезпечення стійкості процесу подрібнення в подрібнювачі з вертикально розташованим подрібнюючим барабаном необхідне надійне защемлення кормів, що подрібнюється, між робочою поверхнею барабана і конусною поверхнею бункера.

Защемлення - це явище, коли тіло перебуває між двома поверхнями, розташованими під кутом один до одного і не може вислизнути під дією рівнодіючої тиску поверхонь. Ця рівнодіюча спрямована убік розчину поверхонь і врівноважується силами тертя, зчеплення і зовнішніми силами.

В.П. Горячкін і М.В. Сабліков відзначали, що критична величина кута защемлення χ - це граничне її значення, при якому стає можливим вислизання тіла, рівна сумарному куту тертя тіла об поверхню.

Защемлення соковитого корму відбувається за тих самих умов, як і в ножицях. Якщо кут χ розчину ножиців великий, то матеріал, що розрізається, виштовхується, при зменшенні цього кута до якоїсь межі матеріал, що розрізається, виявляється затисненим між лезами.

Якщо кут тертя матеріалу по одному лезу рівний φ_1 , а по іншому лезу φ_2 , то для защемлення матеріалу, що розрізається, необхідно, щоб кут між лезами був менше суми кутів тертя або, у крайньому випадку, дорівнював цій сумі: $\chi \leq (\varphi_1 + \varphi_2)$. Якщо $\chi > (\varphi_1 + \varphi_2)$, то матеріал, що розрізається, виштовхується. Аналогічна умова защемлення вірна і для барабана подрібнювача соковитих кормів.

Умовно приймемо, що перетин буряка являє собою коло. Барабан подрібнювача, обертаючись, контактує з поверхнею соковитого корму, відрізаючи від нього частки матеріалу.

Позначимо радіус барабана подрібнювача R , а радіус буряка r (рисунок 2.7).

Так як розроблений нами подрібнювач соковитих кормів має бункер, який виконаний у поперечному перерізі у вигляді спіралі, то можемо записати рівняння спіралі в полярній системі координат [7; 5]:

$$p = a\zeta, \quad (2.21)$$

де p - відстань від осі барабана до стінки бункера подрібнювача;
 ζ - полярний кут, відлічуваний від полярної осі p проти руху годинної стрілки, у цьому випадку від осі Ox до відрізка OM ;
 a - деяке число, що позитивно задається.

Стосовно до розглянутого випадку останнє рівняння в прямокутній системі координат буде мати вигляд:

$$\begin{cases} x = p \cos \varphi = a\zeta \cos \varphi; \\ y = p \sin \varphi = a\zeta \sin \varphi, \end{cases} \quad (2.22)$$

де x і y - поточні координати спіралі.

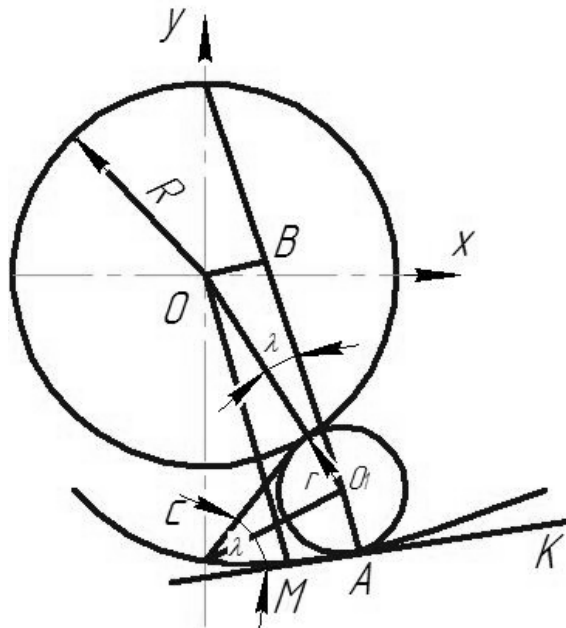


Рисунок 2.7- До визначення кута защемлення

Проведемо в точці А дотичну до спіралі і запишемо рівняння дотичної

в точці А:

$$y = y_A + y'_x(x - x_A), \quad (2.23)$$

де y, x - поточні координати дотичної;

y_A, x_A - поточні координати точки А.

$$y'_x = \frac{y'_\varphi}{x'_\varphi} = \frac{a \sin \varphi + a\zeta \cos \varphi}{a \cos \varphi - a\zeta \sin \varphi}. \quad (2.24)$$

У чисельнику і знаменнику останнього вираження винесемо за дужки $a \cos \varphi$, у результаті одержимо:

$$k = \frac{\operatorname{tg} \varphi + \zeta}{1 - \zeta \operatorname{tg} \varphi}, \quad (2.25)$$

де k - кутовий коефіцієнт дотичної до спіралі.

З урахуванням вираження (2.25) перепишемо рівняння (2.23)

$$y = y_A + k(x - x_A). \quad (2.26)$$

З останнього рівняння знайдемо відстань H від осі барабана до бункера при $x=0, y=0$:

$$H = OM = \frac{y - x_A [(\operatorname{tg} \varphi + \zeta) / (1 - \zeta \operatorname{tg} \varphi)]}{\sqrt{[(\operatorname{tg} \varphi + \zeta) / (1 - \zeta \operatorname{tg} \varphi)]^2 + 1}} \quad (2.27)$$

Ця формула виражає залежність H від φ .

З іншої сторони відстань H можна знайти за формулою:

$$H = (R + r) \cos \chi + r = R \cos \chi + r(1 + \cos \chi), \quad (2.28)$$

Звідси виразимо $\cos \chi$:

$$\cos \chi = \frac{H - R}{R + r}. \quad (2.29)$$

При цьому кут χ повинен бути $\leq (\varphi_1 + \varphi_2)$, де φ_1 – кут тертя між поверхнею барабана і соковитим кормом, а φ_2 – кут тертя між поверхнею соковитого корму і бункера подрібнювача. Отже, умова надійного защемлення соковитого корму в подрібнювачі буде виражено в такий спосіб:

$$\chi = \arccos \frac{H - R}{R + r} \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (2.30)$$

Таким чином, кут защемлення залежить від радіусів барабана і соковитого корму і відстані від осі барабана до бункера подрібнювача.

Щоб підкорити опір різанню строго певної залежності, можна обмежитися якою-небудь загальною формулою, що підлягає потім окремому дослідженню дослідним шляхом.

Так, наприклад, можна припустити, що енергія подрібнюючого барабана витрачається на руйнування вихідної сировини, маса якої безупинно приєднується до маси барабана і потім безупинно залишає його. Таким чином, можна отримати уявлення про опір різанню і про енергоємність процесу подрібнення.

У процесі роботи подрібнювача крайка ріжучого елемента взаємодіє з кормом, що подрібнюється, протягом нескінченно малого проміжку часу, за який відбувається кілька складних фізичних явищ. Досить важко скласти математичну модель даного процесу і дати його аналітичний опис. Цю проблему можна вирішити, тільки зіставляючи різні теоретичні передумови і безпосередньо дослідні дані.

Для того, щоб підійти до розв'язку завдання про опір різанню і про

енергоємність процесу подрібнення, опишемо силову взаємодію при подрібнюванні, розглядаючи рух леза ножа подрібнювача в площині, перпендикулярної до поверхні різання, тобто в горизонтальній площині. При цьому виявляється, що процес подрібнення кормового матеріалу можна представити у вигляді трьох складових: підведення матеріалу в зону защемлення, активного різання і вивантаження подрібненого корму з робочої зони барабана. Це означає, що зусилля, витрачене на виконання процесу подрібнення $P_{подр}$ можна представити у вигляді суми:

$$P_{подр} = P_n + P_{різ}, \quad (2.31)$$

де P_n - зусилля, затрачуване на підведення кормового матеріалу в зону защемлення, Н;

$P_{різ}$ - зусилля активного різання, Н.

На подолання кожного із цих зусиль буде потрібно відповідна потужність N_{pn} , яку можна знайти з вираження, відомого в теоретичній механіці для обертових тіл:

$$N_{pn} = M_{об} \omega. \quad (2.32)$$

Сила, що діє з боку ножа на матеріал, що руйнується, і яка здатна збудити процес різання, називається критичною силою різання ($P_{різ}$). Величина критичної сили різання визначається з вираження:

$$P_{різ} = P_1 + P_2 + T_1 + T_2 + T_3, \quad (2.33)$$

де P_1 - сила опору різанню лезом, Н;

P_2 - сила, що відгинає зрізану частину матеріалу убік вивантаження,
Н;

T_1 - сила тертя соковитого корму об робочу поверхню барабана, Н;

T_2 - сила тертя соковитого корму об фаску ножа, Н;

T_3 - сила тертя соковитого корму об поверхню бункера, Н.

Оцінивши, таким чином, силову взаємодію в подрібнюючому апараті та визначивши проекції всіх сил на напрямок швидкості різання (вісь τ природної системи координат, яка перпендикулярна осі n - рисунок 2.8), знайдемо сумарний обертаючий момент, що виникає в зоні активного різання:

$$M_{\text{подр}} = \sum_{i=1}^5 M_z(\bar{F}_i^{\tau}). \quad (2.34)$$

Моменти ж проекцій сил на головну нормаль щодо осі обертання барабана дорівнюють нулю. Отже, для виконання роботи подрібнення кормового матеріалу кожним окремим ріжучим елементом робочого барабана подрібнювача потрібна потужність, яка знаходиться з вираження (2.32). Враховуючи кількість ножів на робочій поверхні барабана n і конструктивний коефіцієнт використання робочої поверхні барабана k_v , остаточно одержуємо:

$$N_{\text{подр}} = 2M_{\text{подр}} \omega n k_v = M_{\text{подр}}^* \omega. \quad (2.35)$$

Так як подрібнений кормовий матеріал, що пройшов через отвори подрібнюючого барабана під дією сил P_1 і P_2 віддаляється з нього під дією сили ваги, то витрати потужності на вивантаження готового продукту можна не враховувати.

Оцінюючи потужність установки для виконання робочої операції в першій зоні - підведення матеріалу, що подрібнюється, в зону защемлення - раціонально скористатися дослідженнями В.П. Горячкіна, В.А.

Желиговського і С.В. Мельникова, у яких відзначено, що співвідношення обертаючих моментів робочих і допоміжних операцій можна в середньому прийняти $M_{роб} : M_{дон} = 3:1$. У нашому випадку це обумовлюється ще й тим, що при надходженні кормового матеріалу його маса рівномірно розподіляється по робочій поверхні барабана під дією відцентрової сили інерції.

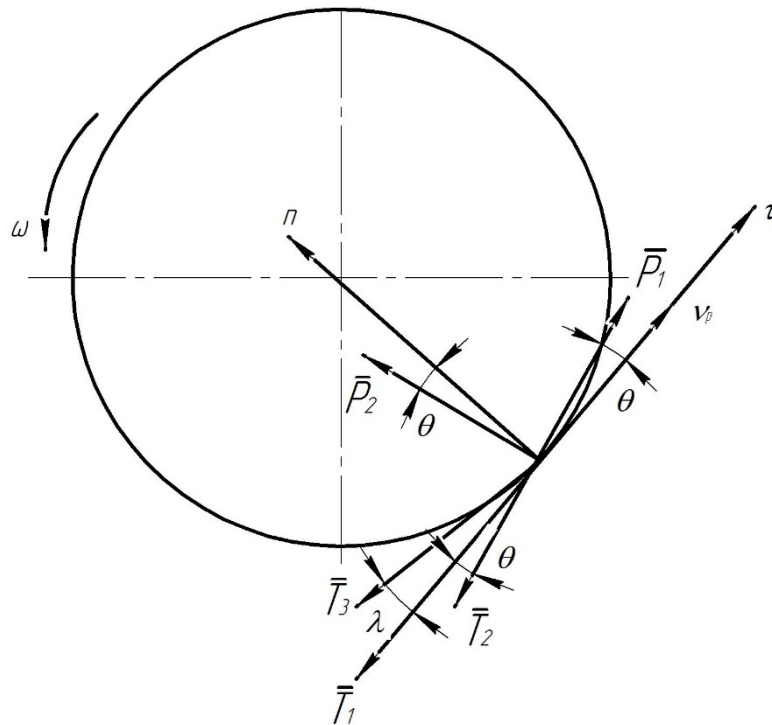


Рисунок 2.8 - Силова взаємодія при подрібнюванні

Загальна потужність N_{pn} подрібнювача, яка потрібна на робочий процес оцінюється вираженням:

$$N_{pn} = N_{подр} + N_n = 4N_{подр} / 3. \quad (2.36)$$

Постійний обертаючий момент двигуна $M_{об}$ виявляється або менше моменту корисних опорів $M_{рп}$, або більше його. У ті відрізки часу, коли обертаючий момент двигуна більше моменту опорів або коли різання не відбувається, надлишкова енергія повинна накопичуватися в маховику установки, роль якого виконує сам барабан, шків ремінної передачі, встановлений на валу подрібнювача, і ротор електродвигуна. Це допомагає підтримувати режим, що встановився, роботи подрібнювача і утримувати

величину кутової швидкості його подрібнюючого барабана в межах припустимого ступеня нерівномірності обертання $\delta_\omega = 0,03-0,07$ (3...7 %).

Потужність, яка необхідна на розбіг установки, визначимо, використовуючи закон зміни кінетичної енергії і враховуючи особливості роботи в зазначеному режимі.

У початковий момент часу $t_0 = 0$ маємо швидкість ротора $\omega_0 = 0$, отже, рівну нулю кінетичну енергію: $T_0 = 0$. Установивши експериментально проміжок часу розбігу машини (Δt , с), для $t_1 = t_0 + \Delta t$ одержимо:

$$T_1 - T_0 = \sum_{i=1}^n A_i, \quad (2.37)$$

звідки

$$T_1 = \sum_{i=1}^n A_i. \quad (2.38)$$

Тоді

$$N_{роз} = \frac{\sum A}{\Delta t} = \frac{T_1}{\Delta t}, \quad (2.39)$$

де $T_1 = \frac{J_z \omega_1^2}{2}$ - кінетична енергія подрібнювача наприкінці розбігу, Дж;

$J_z = J_{барабана} + J_{шківва} + J_{вала}$ - момент інерції робочого органу

подрібнювача, $кг \cdot м^2$.

Враховуючи, що барабан являє собою порожню циліндричну поверхню, шківів приблизно можна вважати диском, а вал - циліндром. Для цього випадку будемо мати:

$$J_z = M'R^2 + 0,5M''R^2 + 0,5M_{ш}R_{ш}^2 + 0,5M_B R_B^2, \quad (2.40)$$

тобто J_z - є величина постійна.

Отже, потужність розбігу, $N_{роз}$, Вт, можна остаточно знайти з вираження:

$$N_{роз} = \frac{J_z \omega_1^2}{2\Delta t}. \quad (2.41)$$

Однак при розрахунках потрібної потужності двигуна на привод подрібнювача соковитих кормів необхідно врахувати витрати енергії на подолання шкідливих опорів холостого ходу машини.

Отже, потужність двигуна, $N_{дв}$, кВт, необхідна на привод подрібнювача з урахуванням усіх витрат енергії і загального коефіцієнта корисної дії трансмісії машини:

$$N_{дв} = \frac{N_{pn} + N_{розб}}{\eta \cdot 10^3}. \quad (2.42)$$

Результати аналітичних і експериментальних досліджень робочих органів подрібнювачів сільськогосподарських матеріалів, отримані багатьма дослідниками і стосовні до робочих органів різних типів, не можуть повною мірою бути використані для енергетичної оцінки і силового аналізу пропонованого подрібнювача.

Розглянемо силову взаємодію при різанні і защемленні одного буряка одним ріжучим елементом і визначимо величину рівнодіючої (критичну силу різання), що працює на подрібнення, і її обертаючий момент щодо осі барабана.

У цьому випадку всі сили можна вважати прикладеними в точках, що лежать на головній нормалі до окружності перетину барабана площиною, перпендикулярної осі його обертання.

Відповідно до залежності 2.33 визначимо величину кожної складової сили.

Сила різання лезом:

$$P_1 = K_{\lambda} \delta \Delta l \sigma_p, \quad (2.43)$$

де $K_{\lambda} = \cos \tau$ - коефіцієнт трансформації ріжучої здатності леза, що залежить від кута ковзання τ ,

δ - гострота леза, м;

$\Delta l = 2\pi r \alpha / 360$ - довжина активної частини леза ріжучого елемента з радіусом r , м;

σ_p - нормальне руйнівне напруження, Па.

Сила, що відгинає зрізану частину матеріалу убік вивантаження:

$$P_2 = N_2 \cos \theta, \quad (2.44)$$

де $N_2 = M(R-r)\omega^2 + m_c(R-r)\omega^2$ - тут перший доданок є відцентрова сила інерції барабану, а другий - відцентрова сила інерції стружки, прикладені на вістря леза ножа, Н;

θ - кут заточення леза, град;

$M = M_b + M_k$ - сумарна маса барабана, і корму, який подрібнюється, і перебуває в ньому, кг;

ω - кутова швидкість барабана, c^{-1} .

Силу тертя соковитого корму об поверхню подрібнюючого барабана, можна знайти з наступного вираження:

$$T_1 = N_1 f_1, \quad (2.45)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя соковитого корму об поверхню барабана;

$N_1 = m\omega^2 R$ - сила нормального тиску соковитого корму на поверхню

барабана, H , що залежить від відцентрової сили інерції соковитого корму масою m , кг.

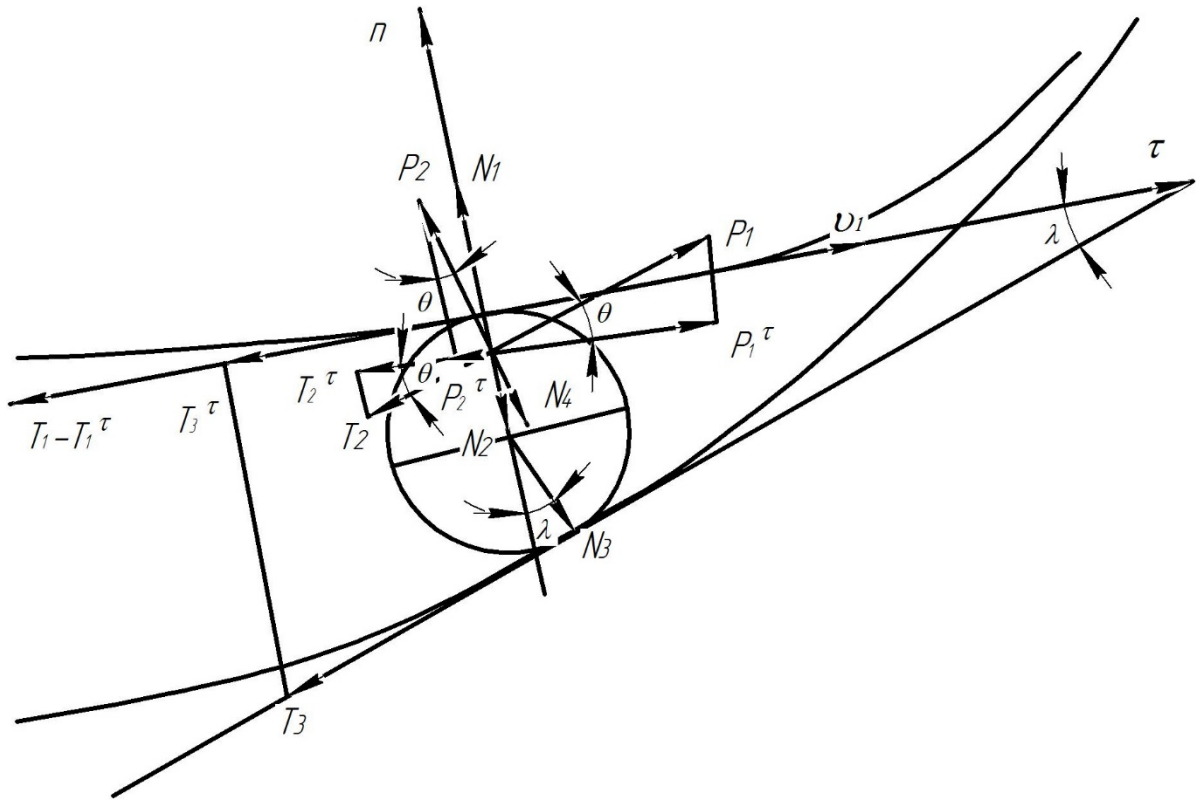


Рисунок 2.9 - До визначення критичної сили різання

Силу тертя соковитих кормів об фаску ножа, можна визначити по формулі:

$$T_2 = f_1 N_4 K_n, H \quad (2.46)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя зрізаного матеріалу об ніж;

$N_4 = m_c \omega^2 (R - r) \cos \theta$ - сила нормального тиску відокремлюваної частини матеріалу, Н;

Сила тертя соковитого корму об поверхню бункера:

$$T_3 = f_2 N_3, \quad (2.47)$$

де f_2 - коефіцієнт тертя буряка об поверхню бункера;

$N_3 = m \omega^2 r \cos \chi$ - сила нормального тиску буряка об поверхню

бункера подрібнювача, Н.

Визначимо тепер алгебраїчну суму проекцій усіх зазначених сил на напрямок швидкості різання U_p , тобто на дотичну вісь природної системи координат, знайшовши, таким чином, величину критичної сили різання:

$$P_{pi3}^r = \sum_{i=1}^5 F_i^r = P_1^r + P_2^r + T_1^r + T_2^r + T_3^r. \quad (2.48)$$

Момент критичної сили різання, тобто обертаючий момент рівнодіючої сили в зоні активного різання M_{pi3} визначимо відповідно до класичної залежності:

$$M_{pi3} = M_z(\bar{P}_{pi3}) = \sum_{i=1}^5 M_z(F_i^r). \quad (2.49)$$

Зробивши відповідні підстановки, згідно з вираженнями 2.43...2.48, одержуємо:

$$\begin{aligned} M_{pi3} = & K_n \delta \Delta l \sigma_p (R-r) \cos \theta - \left[M(R-r)\omega^2 + m_c(R-r)\omega^2 \right] \\ & \cos \theta \sin \theta (R-r) - f_1 m R \omega^2 R - f_1 K_n m_c (R-r)\omega^2 \cos \theta \cos \theta \\ & (R-r) - f_2 m R \omega^2 \cos \chi \cos \chi R. \end{aligned} \quad (2.50)$$

Після алгебраїчних перетворень у підсумку взаємодії одного ріжучого елемента з кормовим матеріалом будемо мати залежність:

$$\begin{aligned} M_{pi3} = & (R-r) \cos \theta \left[K_n \delta \Delta l \sigma_p - (M + m_c)(R-r)\omega^2 \sin \theta \right] - \\ & - \omega^2 \left[m R^2 (f_1 + f_2 \cos^2 \chi) - f_1 K_n m_c (R-r)^2 \cos^2 \theta \right], \end{aligned} \quad (2.51)$$

в якій перший доданок характеризує сили, що активно впливають на процес різання, другий - сили, які перешкоджають процесу різання.

Враховуючи розміри ножового поля подрібнювача і кількість ножів на ньому, остаточно одержимо повний момент, необхідний для подрібнення кормового матеріалу:

$$M_{\text{різ}}^* = M_{\text{різ}} n K_{II}. \quad (2.52)$$

Таким чином, повний момент, необхідний для подрібнення соковитих кормів, залежить від його геометричних розмірів, частоти обертання подрібнюючого барабана, властивостей матеріалу, що подрібнюється, і його маси.

2.3 Продуктивність подрібнювача соковитих кормів

Продуктивність Q , запропонованого нами подрібнювача соковитих кормів можна визначити, використовуючи аналогію із гвинтовими транспортерами, тому що ріжучі елементи подрібнювача розташовані на поверхні барабана по гвинтовій лінії і конструкція завантажувального бункера в поперечному перерізі має форму спіралі. Отже, при надходженні в бункер соковитих кормів, він робить обертально-поступальний рух по гвинтовій поверхні барабана і бункера подрібнювача, поступово опускаючись униз. Отже, продуктивність подрібнювача соковитих кормів Q , т/ч, можна визначити по формулі:

$$Q = \frac{60\pi D^2}{4} \psi S n \gamma \delta_c K_u = 47 D^2 \psi S n \gamma \delta_c K_u, \quad (2.53)$$

де D - діаметр барабана, м

$$D_{\min} = d_{\max} \operatorname{ctg}^2 \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2} - \frac{h}{\sin^2 [0,5(\varphi_1 + \varphi_2)]}, \quad (2.54)$$

де D_{\min} - мінімальний діаметр барабана, м;

d_{\max} - максимальний діаметр буряка, м;

h - відстань між барабаном і бункером подрібнювача, м;

φ_1 - кут тертя між поверхнею барабана і буряка, град.;

φ_2 - кут тертя між поверхнею буряка і бункера подрібнювача, град.;

S - крок гвинтової поверхні, м; для соковитих кормів приймається $S = (0,5 \dots 0,6)D$;

n - частота обертання барабана подрібнювача, хв^{-1} ;

γ - насипна щільність матеріалу, що подрібнюється, т/м^3 ;

δ_c - коефіцієнт, що враховує розрахункову товщину стружки;

ψ - коефіцієнт заповнення бункера.

$$\psi = \frac{m}{\gamma \cdot V_{К.Б.}}, \quad (2.55)$$

де $V_{К.Б.}$ - корисний обсяг бункера, м^3 .

Звичайно для соковитих кормів приймають $\psi = 0,6 \dots 0,7$;

K_B - конструктивний коефіцієнт використання робочої поверхні барабана.

Коефіцієнт використання робочої поверхні барабана визначається з відношення:

$$K_B = S_{акт} / S_0, \quad (2.56)$$

де S_0 - загальна площа робочої поверхні барабана, м^2 ;

$S_{акт}$ - площа ріжучих елементів, м^2 , через яку проходить матеріал, що подрібнюється

$$S_{акт} = S_1 n, \quad (2.57)$$

де n - число ріжучих елементів на даній робочій поверхні барабана;

S_1 - активна площа одного ріжучого елемента, м^2 .

В обраній конструкції подрібнювача використовуються ріжучі елементи напівкруглої форми, отже, площу S_1 можна визначити як площу сегмента:

$$S_1 = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin \alpha \right), \quad (2.58)$$

де r - величина відгину ріжучого елемента, яка дорівнює максимально припустимій товщині різання кормового матеріалу для даного виду тварин або птахів, м;

α - центральний кут, у градусах.

Площу робочої поверхні барабана можна розрахувати по формулі:

$$S_0 = \pi DL, \quad (2.59)$$

де D і L - відповідно діаметр і довжина утворюючої подрібнюючого барабану, м.

Виконавши підстановки, одержуємо:

$$K_s = S_{акт} / S_0 = \frac{nr^2}{2\pi DL} \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin \alpha \right). \quad (2.60)$$

Остаточно:

$$Q = 47D\psi Sn\gamma\delta_c \frac{nr^2}{2\pi L} \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin \alpha \right). \quad (2.61)$$

Таким чином, пропускна здатність подрібнювача соковитих кормів в основному залежить від конструктивних параметрів барабана і фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється.

2.4 Висновки

Отримані теоретичні закономірності дозволяють розрахувати основні конструктивні параметри і режими роботи подрібнювача соковитих кормів.

У пропонуваному подрібнювачі соковитих кормів енергетично вигідно використовувати принцип руйнування матеріалу різанням ножами

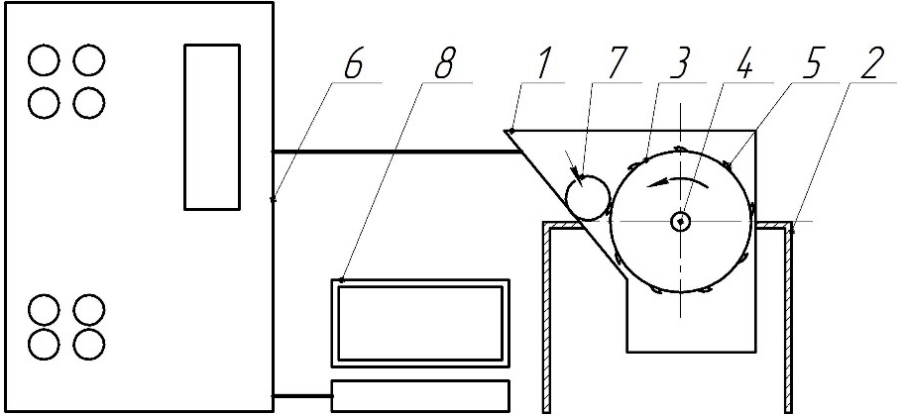
напівкруглої форми, які розташовані на поверхні подрібнюючого барабана по розгортці багатохідного гвинта.

Обґрунтовані залежності, що встановлюють кількісний і якісний взаємозв'язок між режимними параметрами процесу подрібнення соковитих кормів і конструктивно-технологічними параметрами запропонованого подрібнювача з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу, що подрібнюється.

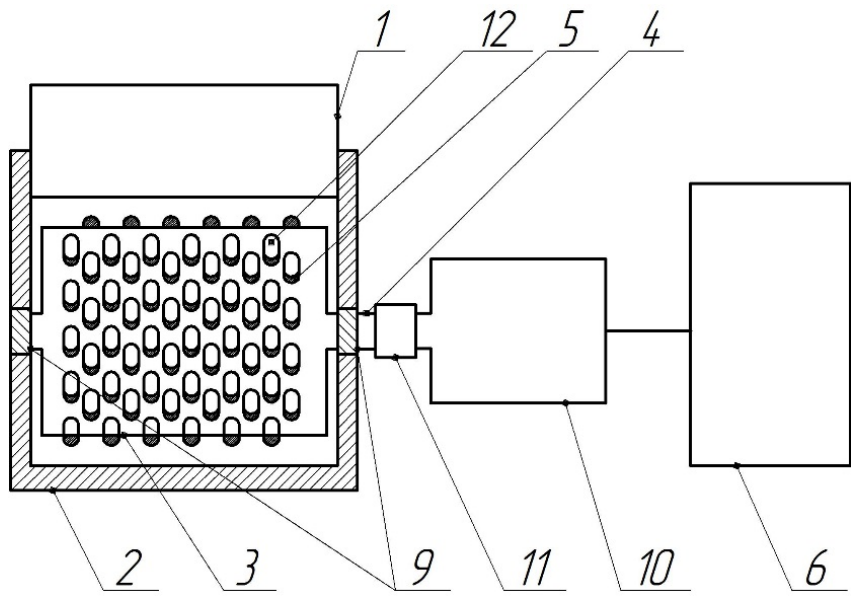
3 Програма і методика експериментальних досліджень соковитих кормів

3.1 Пристрій та принцип дії експериментальної установки

Для вдосконалення конструкційно-технологічних параметрів барабанної терки було здійснено експериментальні дослідження прототипу компактного подрібнювача соковитих кормів (рисунок 3.1).



а)



б)

3.2 Програма і мета дослідження

Для підтвердження теоретичних передумов і висновків, а також для практичної перевірки правильності методики оптимізації конструктивно-режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів у дослідженнях прийнята програма, представлена на рисунку 3.2.

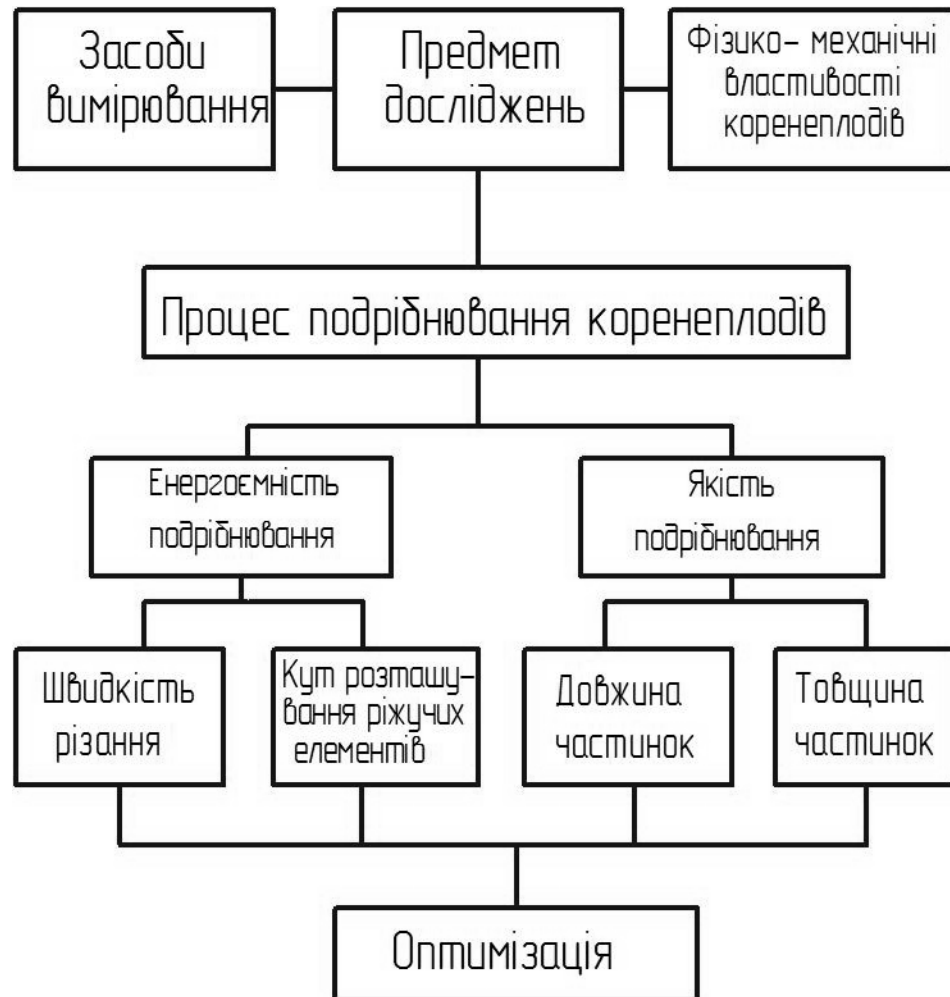


Рисунок 3.2 - Програма експериментальних досліджень

Дана програма передбачає:

- розробку і виготовлення експериментального подрібнювача соковитих кормів, виявлення ефективності його роботи;
- розробку і виготовлення лабораторного комплексу;
- визначення кількості дослідів і вибір технічних засобів виміру;
- дослідження залежності питомих витрат енергії від швидкості

подрібнення соковитих кормів і кута розташування ріжучих елементів на поверхні подрібнюючого барабана;

- визначення впливу розташування ріжучих елементів на поверхні подрібнюючого барабана на якість подрібнення соковитих кормів при різних режимах роботи подрібнювача;

- оцінку фракційного складу подрібненого матеріалу і визначення впливу розташування різальних елементів на поверхні подрібнюючого барабана на якість подрібнення соковитих кормів при різних режимах роботи подрібнювача;

- вибір методу і виконання математичної обробки результатів досліджень;

- порівняльний аналіз теоретичних і експериментальних результатів дослідження.

Метою експериментальних досліджень є визначення оптимальних конструктивно-режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів за рахунок оптимізації швидкості подрібнення соковитих кормів і кута розташування ріжучих елементів по поверхні подрібнюючого барабана для одержання кормового матеріалу необхідної якості.

3.3 Вибір факторів і критеріїв оптимізації

Оптимальний режим роботи подрібнювача повинен забезпечувати максимальну пропускну здатність із мінімальними витратами енергії при якості готового корму, відповідного до зоотехнічних вимог. У процесі подрібнення кормових матеріалів на показники роботи машини впливають різні фактори.

Вихідними параметрами є продуктивність подрібнювача (y_1), споживана їм потужність (y_2), питома енергоємність процесу подрібнення (y_3) і відповідність фракційного складу подрібненого корму зоотехнічним вимогам (y_4).

3.4 Вибір рівнів варіювання факторами

На підставі раніше виконаних досліджень процесу різання соковитих кормів, результатів пошукових дослідів, виходячи з конструктивних міркувань, нами прийняті наступні межі варіювання основних незалежних факторів процесу різання соковитих кормів: кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні барабана змінювався від 25° до 45°, швидкість різання - від 3,9 до 10,4 м/с (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1- Рівні варіювання незалежних факторів

Рівні варіювання	Незалежні фактори	
	кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні барабана α , град	швидкість різання, $v_p, м/с$
Верхній (+1)	45	10,4
Нижній (-1)	25	3,9
Основний (0)	35	7,15
Інтервал варіювання, Δx_i	10	3,25

3.5 Методика оцінки якості подрібнення соковитих кормів

Крім визначення енергетичних показників при порівняльних випробуваннях подрібнювача з різним розташуванням ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана і при різних швидкостях різання було також поставлене завдання оцінки якості подрібненого корму. Однак існуючі способи оцінки якості подрібнення мають ряд недоліків і об'єктивно оцінити якість подрібнення яким-небудь одним методом (показником) важко.

Тому програмою досліджень передбачене визначення фракційного складу подрібненого корму, середньозваженого розміру часток, ступеня подрібнення і коефіцієнта однорідності подрібненої маси.

Як відомо, ступінь подрібнення стеблових кормів оцінюють по вираженню:

$$\lambda_n = L_{cm} / L_\partial, \quad (3.1)$$

де L_{cm} – середньозважена довжина стебел, м ;

L_∂ – середньозважена довжина часток різання, м.

У випадку подрібнення соковитих кормів ступінь подрібнення визначаємо по наступній залежності:

$$\lambda_n = \sqrt[3]{V_1 / V_2}, \quad (3.2)$$

де V_1 – середньозважений обсяг соковитого корму, м³;

V_2 – обсяг частки подрібненої маси середньозваженого розміру м³.

Середньозважену довжину і діаметр часток подрібненої маси визначали за допомогою штангенциркуля. Частки в поперечному перерізі мають напівкруглу форму з радіусом r , рівним величині відгину ріжучої крайки ножового елемента. Тоді обсяг подрібненої частки середньозваженого розміру можна визначити по вираженню:

$$V_2 \approx 0,5\pi r^2 l, \quad (3.3)$$

де l - довжина частки вихідного матеріалу, м.

Розмірні показники часток, що характеризують якість подрібнення, визначаються масою окремих фракцій проби. На точність маси фракцій деякою мірою впливає і маса проби. У дослідженнях при порівняно дрібному

подрібнюванні масу проби беруть у межах 0,2...0,5 кг, а масу зразка - 5...8 кг.

Зразки і проби подрібненої маси відбиралися методом квартування. Для цього подрібнену масу соковитого корму розподіляли на столі рівним шаром у формі квадрата. Виділяли проби зі зразка за допомогою лінійки, розділяючи квадрат на чотири рівні сектори, два з яких по діагоналі відокремлювали, а ті два, що залишилися поєднували, перемішували і знову формували квадрат. Зразок таким способом зменшували доти, поки маса матеріалу в одному секторі не досягала величини проби.

Середньозважений розмір часток при аналізі подрібнених соковитих кормів визначали методом ручної розкладки часток на фракції з наступною обробкою результатів методом математичної статистики.

Середньозважену довжину часток подрібненого корму визначали по формулі:

$$l = \frac{\frac{l_1}{2} G_1 + \frac{l_1 + l_2}{2} G_2 + \dots + \frac{l_{n+1} + l_n}{2} G_n}{G}, \quad (3.4)$$

де $l_1, l_2 \dots l_n$ – довжина часток відповідних фракцій, м;

$G_1, G_2 \dots G_n$ – масовий вихід фракцій, кг;

G - маса проби, кг.

Проби і фракції важили на електронних вагах з погрішністю 0,001 кг.

Для оцінки вирівняності гранулометричного складу подрібненої маси розраховували стандартне відхилення за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{\sum G_i}}, \quad (3.5)$$

де x - середньозважений розмір часток;

x_i - розмір середини інтервалу по довжині часток i -ої фракції;

G_i - масовий вихід i -ої фракції.

Ступінь подрібнення соковитого корму запропонованим подрібнювачем визначиться в такий спосіб:

$$\lambda_n = \sqrt[3]{\frac{68,8}{3,14 \cdot (0,54)^2 \cdot 1,63}} = 46,09, \quad (3.6)$$

А у серійного подрібнювача КР-03:

$$\lambda_n = \sqrt[3]{\frac{68,8}{3,14 \cdot (0,16)^2 \cdot 1,63}} = 525,09. \quad (3.7)$$

Аналіз залежностей якості подрібнення від швидкості різання при різному розташуванні ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана при відповідних витратах енергії показав, що ці залежності з достатнім ступенем точності апроксимуються рівнянням виду:

$$y = a_0 - a_1x + a_2x^2. \quad (3.8)$$

3.6 Висновки

За літературними джерелами було встановлено, що діаметр кормового буряка коливається в межах 0,079...0,1 м; довжина кореня - 0,15...0,2 м, при цьому маса кормового буряка склала: 0,89...1,76 кг.

Аналіз апріорної інформації дозволив виділити з безлічі діючих два незалежні керовані фактори процесу різання: швидкість різання v_p і кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана α .

4 Результати експериментальних досліджень

4.1 Результати основного експерименту і визначення оптимальних режимів роботи подрібнювача соковитих кормів

У процесі пошукових дослідів було виявлено різке зростання витрат енергії при подрібнюванні соковитих кормів з малою частотою обертання подрібнюючого барабана (швидкість різання менше 3,9 м/с). Це пояснюється невеликим моментом інерції порожнього барабана при таких частотах, внаслідок чого при відносно нерівномірному надходженні в бункер подрібнювача великих і різнорозмірних матеріалів, до яких можна віднести кормовий буряк, мають місце значні відхилення швидкості різання від заданої. При швидкостях різання, що перевищують 10,5 м/с, різке зростання питомої енергоємності подрібнення пов'язане з налипанням відкинутих відцентровою силою подрібнених часток соковитих кормів до внутрішньої поверхні барабана, у результаті чого значно погіршуються умови транспортування подрібненого продукту з порожнини барабана. У цьому випадку питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів перевищують 1,5 кВт-год/т.

У ході проведення дослідів, виконаних відповідно до плану експерименту, отримані необхідні дані для складання математичної моделі процесу різання соковитих кормів в подрібнювачі з вертикально розташованим подрібнюючим барабаном.

Для оцінки відхилення параметра оптимізації від середнього значення розраховували дисперсію відтворюваності по даним m паралельних спостережень матриці планування в кожній точці плану по формулі:

$$s_v^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (\bar{y}_v - y_{v,j})^2}{m-1}, \quad (4.1)$$

де s_v^2 - дисперсія в V -ій точці;

j - порядковий номер паралельного дослід у даній точці плану матриці;

\bar{y}_v - середнє арифметичне значення параметра оптимізації в m паралельних дослід у точці v ;

$y_{v,j}$ - значення параметра оптимізації в v -ій точці;

$m - 1$ - число паралельних спостережень у точках плану матриці.

Однорідність дисперсій перевірялася за допомогою критерію Кохрена, заснованого на законі розподілу відношення максимальної дисперсії до суми всіх дисперсій, тобто

$$G = \frac{s_{v_{\max}}^2}{\sum_{v=1}^N s_v^2}, \quad (4.2)$$

де $s_{v_{\max}}^2$ - максимальна дисперсія в v -ій точці;

$\sum_{v=1}^N s_v^2$ - сума всіх дисперсій;

N - загальне число точок плану матриці.

Гіпотезу про відтворюваність вимірів перевіряли при заданому рівні значимості $q = 5 \%$. Критичне значення критерію Кохрена G знаходили за відомою методикою. У випадку якщо розрахункове значення G виявлялося менше знайденого по таблиці, гіпотеза про однорідність дисперсій і відтворюваності результатів ухвалювалася.

Дисперсія параметра оптимізації визначалася по формулі:

$$s^2 = s^2 \{y\} = \frac{\sum_{v=1}^N s_v^2}{N}, \quad (4.3)$$

де $s^2 \{y\}$ - середнє арифметичне дисперсій усіх різних точок плану матриці або дисперсія параметра оптимізації;

s_v^2 - дисперсія в v -ій точці;

$\sum_{v=1}^N s_v^2$ - сума всіх дисперсій.

Коефіцієнти рівняння регресії розраховували на ПЕОМ за допомогою програми «Statistica-10» .

Дисперсія помилки визначення коефіцієнтів регресії обчислювалася по формулі:

$$s^2 \{b_i\} = \frac{s^2 \{y\}}{Nm}. \quad (4.4)$$

Середньоквадратичне відхилення дисперсії помилки визначення коефіцієнта регресії b_i розраховувалося по формулі:

$$s \{b_i\} = \sqrt{\frac{s^2 \{y\}}{Nm}}. \quad (4.5)$$

Значимість коефіцієнтів регресії перевірялася за допомогою критерію Стьюдента. Для кожного коефіцієнта значення критерію обчислювалося по формулі:

$$t_i = \frac{|b_i|}{s \{b_i\}}, \quad (4.6)$$

де t_i - критерій Стьюдента;

$\{b_i\}$ - розраховані коефіцієнти регресії.

При рівні значимості $q = 5 \%$ перевірялися гіпотези про значимість коефіцієнта b_i . При числі ступенів волі $v_i = N(m-1)$ знаходилося табличне значення критерію Стьюдента $t_{кр}$ і рівнялося з розрахунковим t_i . У випадку

більшого значення t_i коефіцієнт b_i визнавався значимим. А якщо ні, то b_i вважався статистично незначущим, і він відкидався без перерахування інших коефіцієнтів.

Адекватність моделі перевірялася за допомогою F-критерію Фішера, який характеризується відношенням:

$$F = \frac{s_{ad}^2}{s^2\{y\}}, \quad (4.7)$$

де s_{ad}^2 - оцінка дисперсії адекватності;

$s^2\{y\}$ - дисперсія параметра оптимізації.

$$s_{ad}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{v=1}^N (\bar{y}_v - \hat{y}_{v,\Lambda})^2, \quad (4.8)$$

де l – число значимих коефіцієнтів (включаючи b_0)

$\hat{y}_{v,\Lambda}$ - математичне очікування параметра оптимізації, підраховане за рівнянням регресії.

Після обробки результатів проведених дослідів було отримано наступне рівняння регресії в натуральних значеннях факторів:

$$q = 3,6665 - 0,4208v - 0,0839\alpha + 0,0298v^2 - 0,0032v\alpha + 0,0016\alpha^2, \quad (4.9)$$

де q - питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів, кВт-год/т;

V - швидкість різання, м/с;

α - кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана, град.

Кореляційне відношення визначалося по формулі:

$$R = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2 - \sum (y - \bar{y}_x)^2}{\sum (y - \bar{y})^2}}, \quad (4.10)$$

де $\sum (y - \bar{y})^2$ - сума квадратів відхилень індивідуальних значень параметра оптимізації від загальної середньої арифметично \bar{y} ;

$\sum (y - \bar{y}_x)^2$ - сума квадратів відхилень параметра оптимізації в конкретних точках плану експерименту від приватних середніх \bar{y}_x .

Табличне значення критерію Стьюдента t_T при рівні значимості 0,05 і числі ступенів волі $\nu_t = N - 1 = 90 - 1 = 89$, де N - число точок плану експерименту, дорівнює 1,96. Розрахункове значення критерію Стьюдента t_p , яке вираховане за допомогою програми для ПЕОМ «Statistica-10», дорівнює 48,702. Нерівність $t_p \succ t_T$ підтверджує вірогідність обчисленого кореляційного відношення, яке дорівнює 0,9.

Табличне значення критерію Фішера F_T при 5 % рівні значимості для отриманого рівняння при ступенях волі чисельника $\nu_1 = k - 1 = 6 - 1 = 5$ і знаменника $\nu_2 = N - k = 90 - 6 = 84$, де k - кількість коефіцієнтів рівняння регресії, включаючи вільний член, який дорівнює 2,87. Розрахункове значення критерію Фішера $F_p = 0,47$. Так як $F_p = 0,47 \prec F_T = 2,4$, то отримана математична модель адекватна.

Табличне значення критерію Кохрена G_T при довірчій імовірності $\gamma_d = 0,95$ і числі ступенів волі $\nu_q = m - 1 = 2$ і $\nu_{zn} = N - 1 = 89$, де m - число повторень досліду в кожній точці плану експерименту, дорівнює 0,9.

Розрахункове значення цього критерію $G_p = 0,41$. Нерівність

$G_T = 0,9 \succ G_p = 0,41$ свідчить про відтворюваність результатів вимірів.

Рівняння (3.31) у кодіваних значеннях факторів має такий вигляд:

$$Y = 0,4001 - 0,3395x_1 + 0,02158x_2 + 0,3199x_1^2 + 0,1554x_2^2 - 0,1053x_1x_2, \quad (4.11)$$

де Y - питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів, кВт·год/т;

x_1 - швидкість подрібнення соковитих кормів, м/с;

x_2 - кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана, град.

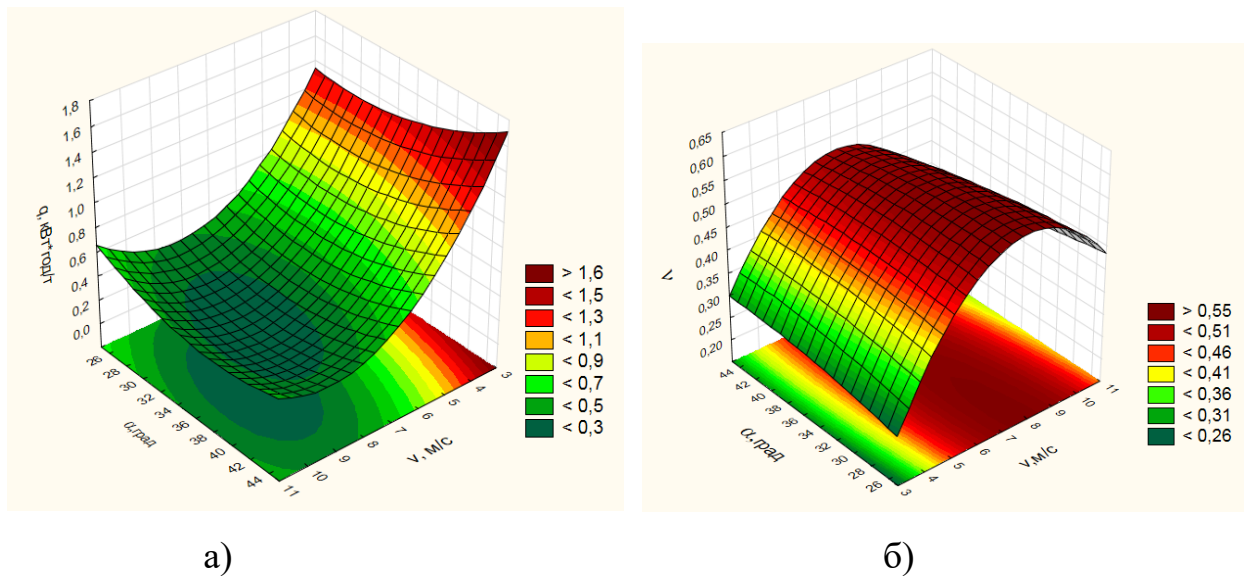


Рисунок 4.1 - Поверхні відгуку, які характеризують залежність питомої енергоємності (а) та коефіцієнту варіації розмірів часток коренеплоду (б) після подрібнення від швидкості різання та кута нахилу ножа

Як свідчать отримані дані, кут нахилу ножів на обидва критерії не має інтенсивного впливу, хоча його збільшення покращує якісні і енергетичні показники процесу. Це пояснюється тим, що збільшення кута нахилу леза збільшується розмір часток після подрібнення, що призводить до росту продуктивності. Що стосується швидкості різання, то тут просліджується чіткий оптимум: питома енергоємність мінімальна (біля 0,4 кВт·год/т) при швидкості 9,2 м/с а якість подрібнення максимальна в діапазоні 8...8,5 м/с.

Таким чином можна стверджувати, що для приведеної конструкції зміна кута нахилу, а отже і ступеня подрібнення на показники якості та

енергоємності процесу несуттєва, при цьому швидкість різання повинна бути в межах 8...9 м/с.

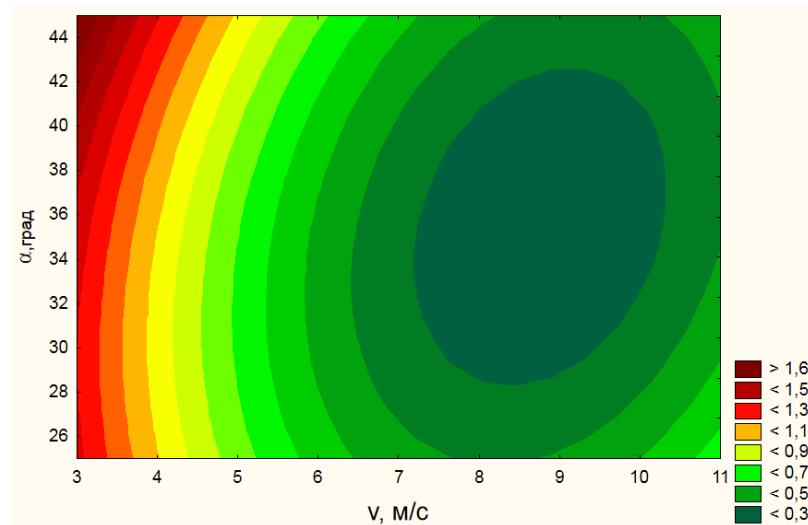


Рисунок 4.2 – Двовимірний перетин поверхні відгуку, який характеризує питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів, кВт-год/т

4.2 Висновки

У результаті реалізації плану експерименту була отримана адекватна математична модель з достатнім ступенем точності, що показує вплив кожного з незалежних факторів і їх комбінацій на параметр оптимізації процесу різання соковитих кормів.

Питомі витрати енергії q на подрібнення соковитих кормів знижуються до швидкості різання, яка не перевищує 8,95 м/с, після чого починають збільшуватися. Більш інтенсивне зниження q спостерігається при більших швидкостях різання соковитих кормів, а при невисоких швидкостях різання інтенсивність зменшується.

У результаті аналізу математичної моделі процесу подрібнення соковитих кормів виявлені оптимальні значення незалежних факторів, при яких питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів мінімальні і становлять 0,308 кВт-год/т; швидкість різання соковитих кормів - 8,95 м/с, кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана - $35^{\circ} 17'$.

5 Охорона праці

5.1 Загальні вимоги охорони праці при подрібненні соковитих кормів

Процес подрібнення соковитих кормів пов'язаний із використанням механічного обладнання, що вимагає суворого дотримання правил охорони праці для забезпечення безпеки працівників та зменшення ризиків травмування.

Перед початком роботи необхідно провести вступний та цільовий інструктаж із техніки безпеки, ознайомити працівників з особливостями роботи обладнання, потенційними небезпеками та заходами їх уникнення. Особливу увагу слід звернути на правила поведінки з рухомими елементами техніки, електричними системами та механічними частинами подрібнювача.

Обладнання для подрібнення повинно бути ретельно оглянуте перед запуском. Перевіряється його технічний стан, справність електромережі, робота заземлення, фіксація захисних кожухів і огорожень. У разі виявлення несправностей або зношених деталей експлуатація забороняється до повного усунення проблем.

Робоче місце має бути забезпечене достатнім рівнем освітлення для чіткої видимості всіх робочих зон. Важливо також забезпечити належну вентиляцію, оскільки при роботі обладнання може утворюватися пил або інші шкідливі викиди.

Працівники повинні використовувати спеціальний одяг та засоби індивідуального захисту, зокрема рукавиці, захисні окуляри та взуття з нековзною підошвою. Одяг не повинен мати вільних елементів, які можуть зачепитися за рухомі частини механізмів.

Робота на обладнанні дозволяється лише кваліфікованим працівникам, які пройшли відповідне навчання та мають допуск до експлуатації машин. Категорично забороняється виконувати ремонт, налаштування або очищення обладнання під час його роботи або без попереднього відключення від електромережі.

У разі виникнення аварійних ситуацій чи несправностей слід негайно припинити роботу, відключити обладнання від живлення та повідомити відповідальну особу. Обов'язково потрібно дотримуватися порядку дій під час евакуації або надання першої допомоги постраждалим.

Дотримання цих загальних вимог охорони праці забезпечить безпечну та ефективну роботу з подрібнення соковитих кормів.

5.2 Проект інструкції з охорони праці при роботі з подрібнювачем соковитих кормів

1. Загальні положення

1.1. Ця інструкція встановлює вимоги з охорони праці під час роботи з подрібнювачем соковитих кормів та обов'язкова для всіх працівників, які експлуатують дане обладнання.

1.2. Робота з подрібнювачем дозволяється лише особам, які пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з охорони праці, а також отримали допуск до роботи.

1.3. До роботи не допускаються особи, які перебувають у стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння.

1.4. Усі працівники повинні бути забезпечені спеціальним одягом, взуттям та засобами індивідуального захисту (ЗІЗ).

1.5. Під час експлуатації обладнання необхідно дотримуватись вимог цієї інструкції, а також правил пожежної безпеки та промислової санітарії.

2. Вимоги перед початком роботи

2.1. Перед запуском обладнання перевірити:

справність подрібнювача;

наявність і стан захисних кожухів та огорожень;

заземлення та підключення електромережі;

відсутність сторонніх предметів у зоні подрібнення.

2.2. Переконатися у наявності достатнього освітлення та вентиляції на робочому місці.

2.3. Перевірити наявність засобів першої допомоги та вогнегасників.

2.4. Встановити подрібнювач на рівній, стійкій поверхні, забезпечивши його надійне кріплення.

3. Вимоги під час роботи

3.1. Під час роботи не залишати обладнання без нагляду.

3.2. Забороняється торкатися рухомих частин обладнання, відкривати захисні кожухи або виконувати регулювання під час роботи подрібнювача.

3.3. Завантаження кормів здійснювати поступово, не перевищуючи допустимої норми.

3.4. Стежити за станом обладнання. У разі появи сторонніх шумів, вібрації чи інших несправностей негайно зупинити роботу.

3.5. Забороняється використовувати обладнання для подрібнення матеріалів, що не передбачені інструкцією виробника.

4. Вимоги після закінчення роботи

4.1. Вимкнути обладнання від електромережі.

4.2. Очистити подрібнювач від залишків кормів, дотримуючись правил безпеки.

4.3. Перевірити стан обладнання, за необхідності провести технічне обслуговування.

4.4. Зробити запис у журналі обліку роботи обладнання про виконані роботи та виявлені недоліки.

5. Вимоги в аварійних ситуаціях

5.1. У разі аварії, несправності або травмування негайно зупинити роботу та повідомити керівника.

5.2. Відключити обладнання від електромережі.

5.3. Надати першу допомогу постраждалим (за необхідності).

5.4. Викликати екстрені служби у разі необхідності (швидку допомогу, пожежну службу тощо).

5.5. Не відновлювати роботу до повного усунення причин аварії.

5.3 Порядок дій під час пожежі

При виникненні пожежі необхідно негайно оцінити ситуацію, забезпечити власну безпеку та повідомити про інцидент. Викличте службу порятунку за номером 101, надаючи точну інформацію про місце події, її характер та можливі загрози. У разі потреби організуйте евакуацію людей, дотримуючись визначених шляхів та засобів евакуації. Якщо це можливо і безпечно, спробуйте локалізувати займання за допомогою первинних засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники, пісок або вода (залежно від типу пожежі). Під час евакуації чи гасіння уникайте паніки, дотримуйтесь правил безпеки, зокрема закривайте рот і ніс вологою тканиною для зменшення впливу диму. Після виходу з небезпечної зони залишайтеся на безпечній відстані та дочекайтеся прибуття пожежної служби для надання подальшої допомоги. напиши короткі висновки

5.4 Висновки

Дотримання вимог охорони праці при подрібненні соковитих кормів є ключовим для забезпечення безпеки працівників та запобігання травмам. Процес роботи з подрібнювачем має базуватись на ретельній перевірці обладнання, використанні засобів індивідуального захисту та виконанні інструкцій з експлуатації. Під час пожежі важливо зберігати спокій, оперативно діяти відповідно до визначеного порядку, забезпечувати евакуацію людей і локалізувати займання за можливості.

Чітке дотримання правил охорони праці та порядку дій під час аварійних ситуацій сприяє збереженню життя, здоров'я працівників та майна підприємства.

6 Економічне обґрунтування розробленого малогабаритного подрібнювача соковитих кормів

6.1 Вихідні дані

Метою магістерської роботи є розробка перспективної конструктивно-технологічної схеми подрібнювача соковитих кормів, що забезпечує високу якість подрібнення при мінімальних питомих витратах енергії і максимальної пропускної здатності.

У даному розділі визначається передбачувана економічна ефективність застосування розробленого подрібнювача кормів. За прототип був узятий подрібнювач кормів КР-03. Вихідні дані для розрахунку зводимо в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Показник	Варіанти	
	подрібнювач кормів КР-03	розроблений подрібнювач
1	2	3
Добовий об'єм робіт, кг	214,7	214,7
Річний об'єм робіт, т	45,08	45,08
Продуктивність, кг/год	650	700
Потужність приводу, кВт	1,1	1,1
Питома енергоємність, кВт·год/т	1,8	0,8
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість, грн.	10256	11250

6.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Порівняння базового та удосконаленого подрібнювачів коренеплодів проводиться на основі аналізу питомих експлуатаційних витрат, які

складаються з кількох ключових елементів. Основні компоненти цих витрат включають заробітну плату працівників, витрати на енергоресурси, амортизаційні відрахування, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання.

Для точності розрахунків ми будемо використовувати методики та рекомендації, зазначені в джерелі [27].

Таблиця 6.2 - Показники економічної ефективності
експериментального подрібнювача

Показники	Варіанти		Експериментальний варіант в % до базового
	подрібнювач кормів КР-03	експериментальний подрібнювач	
Річний об'єм робіт, т	45,08	45,08	-
Продуктивність, кг/год.	650	1875	288,5
Потужність приводу, кВт	1,1	0,75	68,2
Питома енергоємність, кВт×год/т	1,8	0,4	22,2
Вага, кг	22,85	11,5	50,3
Обслуговуючий персонал, люди.	1	1	
Вартість, грн.	10256	11250	109,7
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	781,26	283,06	36,2
в т.ч.: витрати на електроенергію	183,12	43,28	23,6
витрати на ТО та ремонт	18,20	19,96	109,7
амортизаційні відрахування	25,02	27,45	109,7
заробітна платня	554,92	192,37	34,7
Капітальні вкладення, грн.	-	11250	-
Річний економічний ефект, грн.	-	22462,2	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	0,50	-

6.4 Висновки

Техніко-економічна оцінка експериментального подрібнювача показала, що в порівнянні з базовим КР-03 він має переваги за експлуатаційними витратами. При цьому строк окупності при впровадженні складе 0,5 роки, а річний економічний ефект за нашими розрахунками становить $E_e = 22462,20$ грн.

Загальні висновки

1. На основі виконаного аналізу існуючих технологічних схем подрібнювачів соковитих кормів і пред'явлених до них зоотехнічних вимог запропонований подрібнювач соковитих кормів, що працює за принципом різання.

2. Теоретично обгрунтовано кількість ріжучих елементів і обгрунтовано їх розміщення на поверхні подрібнюючого барабана. Отримано аналітичні вирази, за допомогою яких можна оцінити ступінь впливу основних конструктивно-режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів на зусилля різання, пропускну здатність і витрати енергії.

3. Питома робота різання кормового буряка ефективно знижується до досягнення кутом нахилу ріжучої кромки ножа α_0 до напрямку діючої сили значень $40...60^\circ$, причому її зниження більш інтенсивно при швидкості різання 2,68 м/с. Подальше зменшення зазначеного кута недоцільно, так як воно пов'язане з деяким підвищенням питомої роботи різання, більш помітним при менших швидкостях.

4. Отримано адекватну математичну модель процесу механічної обробки соковитих кормів в запропонованому подрібнювачі, яка дозволила визначити оптимальні значення незалежних варійованих факторів процесу: швидкість різання соковитих кормів 8,95 м/с; кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана - $35^\circ 17'$. Питомі витрати енергії склали 0,308 кВт-год / т, що в 3,25 рази менше в порівнянні з подрібнювачем КР-03.

5. Для забезпечення належних умов охорони праці, на основі існуючих вимог, були розраховані параметри запроектованого контуру заземлення.

6. Строк окупності при впровадженні складе 0,5 роки, а річний економічний ефект за нашими розрахунками становить $E_e = 22462,20$ грн.

Бібліографія

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

architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.

8. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia– 36-39 s.

9. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // Materialy XV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019» , Volume 10 Przemysł: Nauka i studia -33-35 s.

10. Suhadi, W. Die Shecke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. //-Maschinenbautemechnik –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)

11. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.

12. Lacey. P.M. Development in the Thery of Particfl mixing. J. Appl. Chem. 1954, №4, – P. 257

13. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Dauerlag

14. Основи розробки комбінованих очисних систем коренезбиральних машин : монографія [Барановський В.М., Дубчак Н.А., Теслюк В.В. та ін.]. Тернопіль, 2015. 176 с.

15. Analytical research results of the combined root digger / Herasymchuk H.A., Baranovsky V.M., Herasymchuk O.O., Pastushenko A.S. INMATEH. – Agricultural Engineering. INMA Bucharest : National Institute of researchdevelopment for machines and installations designed to agriculture and food industry, 2018. Vol. 54. No. 1/2018.

16. Динамічний аналіз взаємодії коренеплоду з рифом еліпсного вальця / Паньків М.Р. та ін. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2003. Вип. 33. С. 234—241.

17. Паньків М.Р. Транспортно-сепаруючі робочі органи бурякозбиральних машин. Сільськогосподарські машини. 2000. Вип. 7. С. 108–115.

18. Паньків М.Р., Гевко І.Б. Експериментальні дослідження сепарації вороху коренеплодів кулачково-вальцьовим очисником. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2002. Вип. 80. С. 253–262.

19. Пилипець М.І. Технологічні основи очистки і сортування коренеплодів. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. Механізація сільськогосподарського виробництва. 1998. Т. 4. С. 354–367.

20. Jurco V. Vplyv zlozenia krmnej davky na kvalitu mlieka / V. Jurco // Nas Chov. - 1989. - Т. 49. - № 3. - S. 119-121.

21. Обґрунтування параметрів шнекових транспортерів-подрібнювачів коренеплодів / Виговський А.Ю., Барановський В.М., Паньків В.Р., Грицай Ю.В. : монографія. К. : Аграр Медіа Груп, 2019. 300 с.

22. Грицай Ю.В., Попович П.В, Барановський В.М, Паньків В.Р. Комбінований шнековий-транспортер подрібнювач. МПК В65G33/16, В65G33/24 : пат. на корисну модель 125415 Україна. № u201711835 ; заявл. 04.12.2017 ; опубл. 10.05.2018. Бюл. № 9/2018. 4 с.

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

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

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

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

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

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Обґрунтування параметрів подрібнювача соковитих кормів

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

Виконав: студент 2 курсу, групи МГAI-1-23
Чубук Андрій Андрійович

Керівник: к.т.н., доцент
Івлєв Віталій Володимирович

Дніпро 2024

Мета і задачі досліджень

Метою роботи є розробка перспективної конструктивно-технологічної схеми подрібнювача соковитих кормів, що забезпечує високу якість подрібнення при мінімальних питомих витратах енергії і максимальній пропускній здатності.

Відповідно до мети роботи поставлені наступні завдання дослідження:

- на основі аналізу конструкцій засобів механізації подрібнення соковитих кормів розробити конструктивно-технологічну схему подрібнювача соковитих кормів, що забезпечує високу якість подрібнення при мінімальних питомих витратах енергії і необхідній пропускній здатності;
- дослідити фактори, що виявляють вплив на технологічний процес подрібнення соковитих кормів і одержати аналітичні вираження для їхнього визначення;
- уточнити фізико-механічні характеристики кормових матеріалів, що подрібнюються і визначити зусилля їх різання при різних кутах установки ножа до напрямку діючої сили, а також розробити програму для визначення характеристик міцності соковитих кормів за допомогою ЕОМ;
- розробити заходи з охорони праці малогабаритного подрібнювача соковитих кормів;
- одержати математичну модель процесу подрібнення соковитих кормів в подрібнювачі обраного типу і оптимізувати його конструктивно-режимні параметри;
- оцінити економічну ефективність пропонованого подрібнювача соковитих кормів.

Аналіз стану питання



Рисунок 1 - Класифікація подрібнювачів соковитих кормів

Характеристики існуючих конструкцій подрібнювачів

Марка подрібнювача	Спосіб подрібнення	Швидкість робочих органів, м/с	Продуктивність, т/год	Наявність часток розміром 3...5 мм, %	Питома витрата енергії, кВт-год/т
РКР-2	Різання	1,2...6,3	2,9	33,1	0,35
МРК-5	Різання	4,3	3,4	35,0	0,68
КПСК-1000	Різання	6...20	4,7	54,0	0,54
КП-4	Різання	4...25	4,1	84,0	1,2
ІКМ-5	Різання	4...25	6,7	86,0	1,29
ІКС-5	Удар	40	5,7	61,0	1,37
Волгар-5	Різання	17,6	7,5	70,0	1,2
КДУ-2	Різання, удар	71,3	6,5	46,0	3,3
ІРМ-50	Удар	41,8...83,6	37,3...78	100	2,4...3,1
АПК-10А	Удар	30...50	5...12	60,3	4,1...5,6
КР-03	Різання	4...25	10	80,0	0,61

Теоретичні дослідження

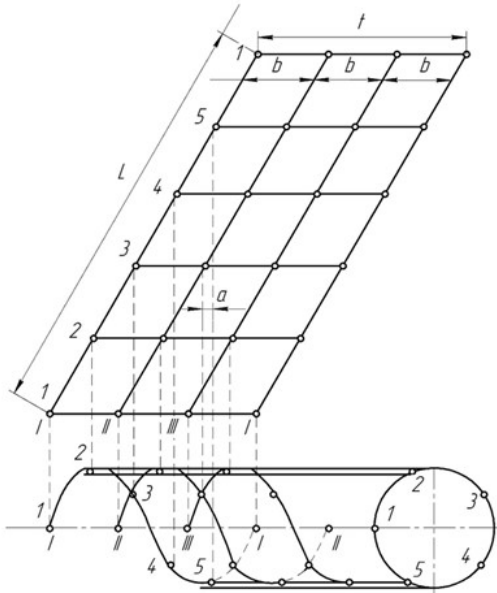


Рисунок 2 - Планування ножового поля подрібнювача

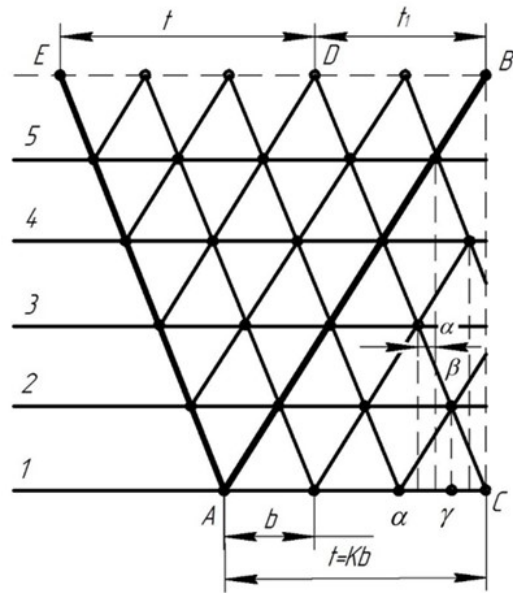


Рисунок 3 - Розміщення ножів на подрібнюючому барабані при N утворюючих і K ходах (N>K)

Лабораторні дослідження

Межі варіювання основних незалежних факторів процесу різання соковитих кормів: кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні барабана змінювався від 25° до 45°, швидкість різання - від 3,9 до 10,4 м/с

Рівні варіювання незалежних факторів

Рівні варіювання	Незалежні фактори	
	кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні барабана α , град	швидкість різання, v_p , м/с
Верхній (+1)	45	10,4
Нижній (-1)	25	3,9
Основний (0)	35	7,15
Інтервал варіювання, Δx_i	10	3,25

Вихідними параметрами є продуктивність подрібнювача (y_1), споживана їм потужність (y_2), питома енергоємність процесу подрібнення (y_3) і відповідність фракційного складу подрібненого корму зоотехнічним вимогам (y_4).

7

Лабораторні дослідження

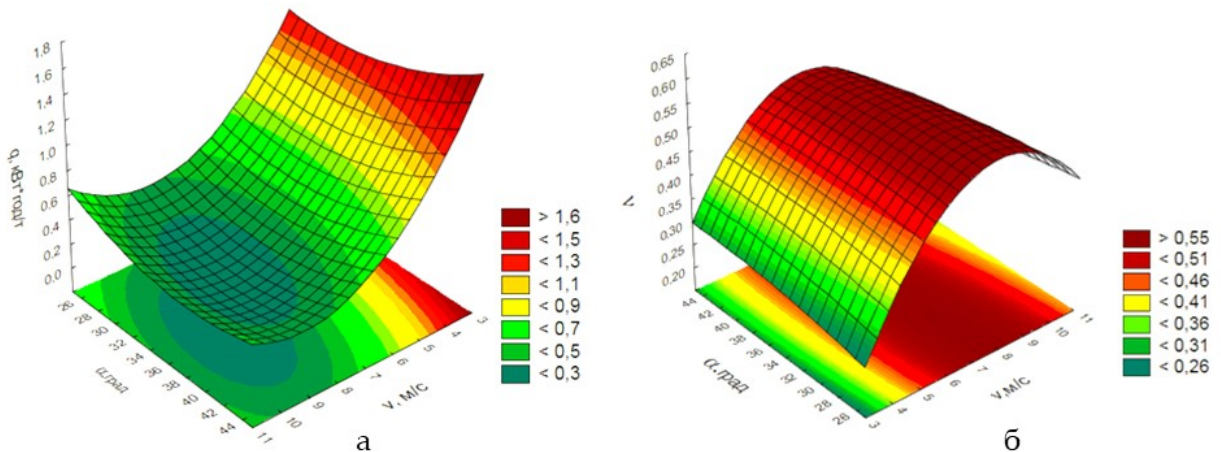


Рисунок 7 - Поверхні відгуку, які характеризують залежність питомої енергоємності (а) та коефіцієнту варіації розмірів часток коренеплоду (б) після подрібнення від швидкості різання та кута нахилу ножа

Як свідчать отримані дані, кут нахилу ножів на обидва критерії не має інтенсивного впливу, хоча його збільшення покращує якісні і енергетичні показники процесу. Що стосується швидкості різання, то тут просліджується чіткий оптимум: питома енергоємність мінімальна (біля 0,4 кВт·год/т) при швидкості 9,2 м/с а якість подрібнення максимальна в діапазоні 8...8,5 м/с.

8

Лабораторні дослідження

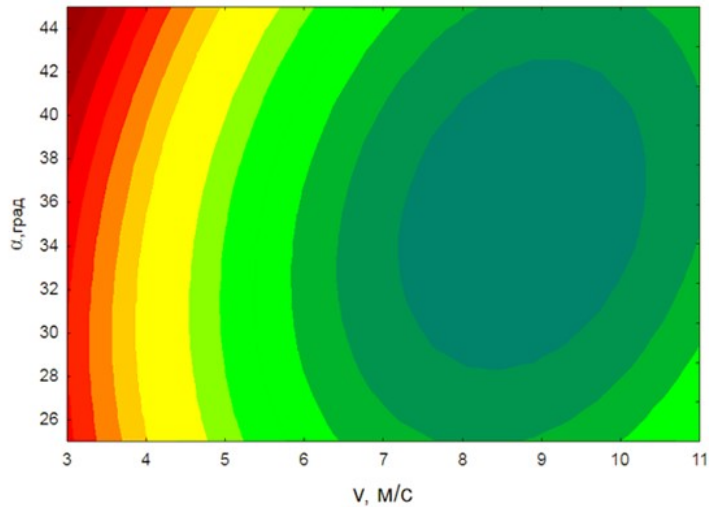


Рисунок 8 – Двовимірний перетин поверхні відгуку, який характеризує питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів, кВт-год/т

У результаті аналізу математичної моделі процесу подрібнення соковитих кормів виявлені оптимальні значення незалежних факторів, при яких питомі витрати енергії на подрібнення соковитих кормів мінімальні і становлять 0,31 кВт-год/т; швидкість різання соковитих кормів - 8,95 м/с, кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана - 35° 17'.

9

Охорона праці

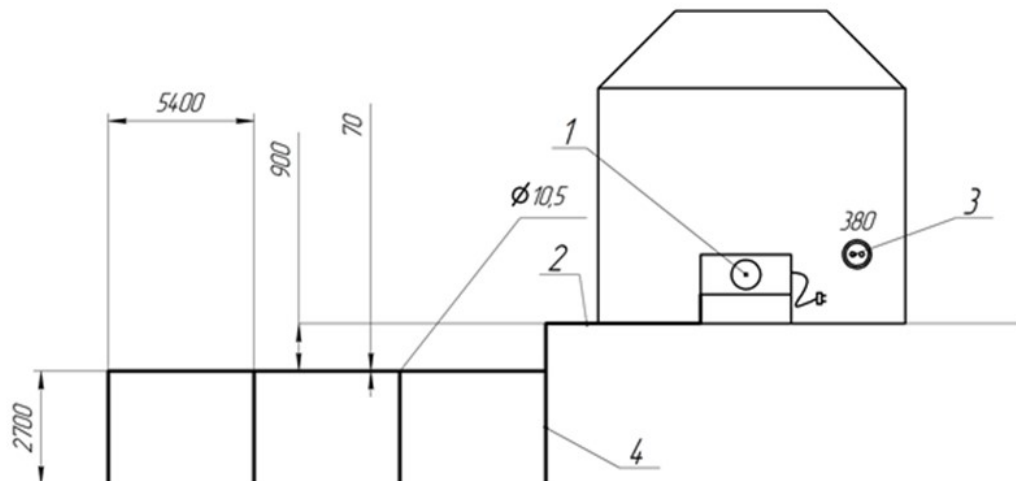


Рисунок 9 - Схема захисного заземлення: 1-подрібнювач соковитих кормів; 2-горизонтальна смуга; 3- джерело живлення; 4-вертикальний заземлювач

10

Показники економічної ефективності

Показники	Варіанти		Експериментальний варіант в % до базового
	подрібнювач кормів КР-03	експериментальний подрібнювач	
Річний об'єм робіт, т	45,08	45,08	-
Продуктивність, кг/год.	650	1875	288,5
Потужність приводу, кВт	1,1	0,75	68,2
Питома енергоємність, кВт×год/т	1,8	0,31	22,2
Вага, кг	22,85	11,5	50,3
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1	
Вартість, грн.	10256	11250	109,7
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн./т	781,26	283,06	36,2
в т.ч.: витрати на електроенергію	183,12	43,28	23,6
витрати на ТО та ремонт	18,20	19,96	109,7
амортизаційні відрахування	25,02	27,45	109,7
заробітна платня	554,92	192,37	34,7
Капітальні вкладення, грн.	-	11250	-
Річний економічний ефект, грн.	-	22462,2	-
Строк окупності капітальних вкладень, років	-	0,50	-

Загальні висновки

1. На основі виконаного аналізу існуючих технологічних схем подрібнювачів соковитих кормів і пред'явлених до них зоотехнічних вимог запропонований подрібнювач соковитих кормів, що працює за принципом різання.

2. Теоретично обґрунтовано кількість ріжучих елементів і обґрунтовано їх розміщення на поверхні подрібнюючого барабана. Отримано аналітичні вирази, за допомогою яких можна оцінити ступінь впливу основних конструктивно-режимних параметрів подрібнювача соковитих кормів на зусилля різання, пропускну здатність і витрати енергії.

3. Питома робота різання кормового буряка ефективно знижується до досягнення куту нахилу ріжучої кромки ножа α_0 до напрямку діючої сили значень $40...60^\circ$, причому її зниження більш інтенсивно при швидкості різання 2,68 м/с. Подальше зменшення зазначеного кута недоцільно, так як воно пов'язане з деяким підвищенням питомої роботи різання, більш помітним при менших швидкостях.

4. Отримано адекватну математичну модель процесу механічної обробки соковитих кормів в запропонованому подрібнювачі, яка дозволила визначити оптимальні значення незалежних варійованих факторів процесу: швидкість різання соковитих кормів 8,95 м/с; кут розташування ріжучих елементів на робочій поверхні подрібнюючого барабана - $35^\circ 17'$. Питомі витрати енергії склали 0,31 кВт-год / т, що в 3,25 рази менше в порівнянні з подрібнювачем КР-03.

5. Для забезпечення належних умов охорони праці, на основі існуючих вимог, були розраховані параметри запроектованого контуру заземлення.

6. Строк окупності при впровадженні складе 0,5 роки, а річний економічний ефект за нашими розрахунками становить $E_e = 22462,20$ грн.