

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів**

**подрібнювача стеблових кормів**

**Виконала:** студентка 2 курсу, групи МГМЗ-1-20

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Жданова Ірина Олегівна

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Івлєв Віталій Володимирович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2022

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

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

МВПТ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«24» січня 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Жданова Ірина Олегівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів  
подрібнювача стеблових кормів

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«24» січня 2022 року № 120

2. Строк подання студентом роботи 14.02.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи «Аналіз стану питання процесів та обладнання для  
приготування кормів, зокрема подрібнювачів стеблових кормів. Патентний  
пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної темати-  
ки».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичні дослідження процесу под-  
рібнення стеблових кормів різанням. 3. Експериментальні дослідження проце-  
су подрібнення стеблових кормів. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних  
ситуаціях. 5. Економічна ефективність застосування проектного подрібню-

вача стеблових кормів. Загальні висновки. Список використаної літератури

5. Перелік демонстраційного матеріалу

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Івлєв В.В., доцент		
2	Івлєв В.В., доцент		
3	Івлєв В.В., доцент		
4	Кравець В.В., доцент		
5	Вініченко І.І., професор		
Нормоконтроль	Гаврильченко О.С., доцент		

7. Дата видачі завдання: 24.01.2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Жданова І.О.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

Івлєв В.В.

\_\_\_\_\_



Н.	Гаврильчен-			ти	ЕУ
За-	Дудін				

## АНОТАЦІЯ

Жданова І.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача стеблових кормів / Дипломна робота представлена на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

Дипломна робота складається з п'яти основних розділів та змісту, вступу, висновків, списку використаної літератури. В першому розділі проведений огляд подрібнювачів стеблових кормів, розроблена їх класифікація, основні напрямки теорії процесу. У другому розділі висвітлено питання теоретичного обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів криволінійного ріжучого апарату подрібнювача стеблових кормів. Третій розділ присвячено експериментальним дослідженням конструктивно-технологічних параметрів криволінійного ріжучого апарату подрібнювача стеблових кормів. В частині з охорони праці досліджено подрібнювач з криволінійним ріжучим апаратом з точки зору охорони праці. Розділ п'ять – економічна ефективність застосування проєктованого подрібнювача стеблових кормів.

**Ключові слова:** корм, сіно, подрібнення, сегмент, різання, потужність, енергоємність.

Експериментальні дослідження подрібнювача стеблових кормів / Жданова І.О. // Інжиніринг агропромислового виробництва: матеріали Всеукр. наук.-практ. студ. конф. (1-2 грудня 2021 р., м. Дніпро). – Дніпро: ДДАЕУ, 2021. – 69-71 с.

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналіз стану питання	9
1.1 Характеристики стеблових кормів	9
1.2 Огляд технічних засобів подрібнення стеблових кормів	13
1.3 Огляд наукових досліджень процесу роботи подрібнювачів	19
1.4 Висновки	24
2 Теоретичні дослідження процесу подрібнення стеблового корму різанням	25
2.1 Теоретичні передумови процесу	27
2.2 Моделювання роботи дискового подрібнювача стеблових кормів	30
2.3 Дослідження впливу трансформації кута загострення леза у процесі різання	33
2.4 Висновки	41
3 Експериментальні дослідження процесу подрібнення стеблових кормів	43
3.1 Мета, завдання і програма досліджень	43
3.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень	43
3.3 Програма та методика досліджень процесу різання	49
3.4 Результати експериментальних досліджень	53

3.5 Висновки	58
4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	59
4.1 Загальні визначення та поняття	59
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	60
4.3 Заходи по забезпеченню захисту робітника, який працює з подрібнювачем від дії шкідливих та небезпечних факторів	60
4.4 Правила безпеки при виконанні робіт з подрібнення стеблових кормів	62
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	64
4.6 Висновки	66
5 Економічна ефективність застосування проєктованого подрібнювача стеблових кормів	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	73
ДОДАТКИ	79

## ВСТУП

Годівля великої рогатої худоби поживними кормами забезпечує високу продуктивність тварин. Процес подрібнення кормів є трудомістким, тому необхідні ефективні та ресурсозберігаючі технічні засоби з приготування кормів ВРХ. В Україні налічується понад 2 тисячі малих ферм (до 100 корів). Є велика кількість ферм від 100 до 400 корів. Частка ручної праці на малих формах, селянських-фермерських господарствах, особистих підсобних господарствах досягає 65% і більше, що зумовлено відсутністю ресурсозберігаючих засобів для виконання технологічних операцій під час виробництва продукції тваринництва. Застосування досить енергоємних існуючих типів подрібнювачів, особливо в умовах підприємств малих ферм, збільшує собівартість продукції тваринництва. Тому розробка нових типів подрібнювачів із низькою енергоємністю є актуальним завданням.

Одним із способів зниження енергоємності - застосування дискових робочих органів, оснащених комбінованими сегментами.

Метою роботи є підвищення ефективності подрібнення стеблових кормів шляхом обґрунтування параметрів процесу роботи і конструкції подрібнювача стеблових кормів.

Завдання досліджень:

- провести огляд існуючих конструкцій подрібнювачів стеблових кормів, розробити їх класифікацію та проаналізувати теоретичні дослідження за темою роботи;

- провести теоретичний аналіз роботи ріжучого апарату з криволінійним ножом та визначити фактори, що впливають на енергоємність процесу;

- провести лабораторні та експериментальні дослідження процесу різання стеблових кормів ножами різного типу;



- дати економічну оцінку впровадження пропонованого подрібнювача стеблових кормів.

Об'єкт дослідження - процес подрібнення стеблових кормів ножовим ріжучим апаратом.

Предмет дослідження – закономірності взаємозв'язку технологічних і конструкційних параметрів ріжучого апарату подрібнювача стеблових кормів.

## 1 Аналіз стану питання

### 1.1 Характеристики стеблових кормів

Аналіз спрямований на визначення основних механіко-технологічних властивостей грубих стеблових кормів, що надають найбільший вплив на ефективність процесу подрібнення.

Взаємодія робочих органів подрібнювача з технологічним матеріалом, енергоємність, матеріаломісткість та якість подрібнення в великій мірі залежить від таких властивостей: структури та вологості корми, його початкових розмірів, об'ємної маси (щільності), коефіцієнтів внутрішнього та зовнішнього тертя, кута природного укосу опору стебел подрібненню, забруднення сторонніми предметами та інше.

Основні механіко-технологічні властивості грубих стеблових кормів представлені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Механіко-технологічні властивості грубих стеблових кормів

Вид корму	Вологість, %	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	Кут природного скосу, град.
Сіно (розсипне)	14-17	75-88	52-62
Солома (розсипна)	14-17	48-52	
Сіно, солома (пресоване)	13-17	260-300	
Солом'яна січка (розсипна)	13-16	35-55	
Зелена кукурудза	75-78	77-82	47-49
Кукурудзяний силос	78-82	650-770	48-55
Трав'яний сінаж	52-57	320-360	48-58

Найважливішою механіко-технологічною властивістю грубих стеблових кормів є вологість. Багатьма вченими та дослідниками встановлено, що збільшення вологості стебел призводить до зростання енергоємності процесу подрібнення та зниження ступеня подрібнення. Крім того, зі збільшенням вологості матеріалу зростає ефективність ножових подрібнювачів, а молоткових, навпаки, знижується. Стеблові корми, перебуваючи в скирті, змінюють свою вологість від 8-10% у липні-серпні до 30% у січні-лютому, це необхідно врахувати розробки нових високоефективних подрібнювачів.

Істотною механіко-технологічною характеристикою грубих стеблових кормів є структура. Стебло виконує такі основні функції: «несе на собі масу рослини, чинить опір статичним та динамічним навантаженням, забезпечує листову поверхню водою та розчиненими в ній мінеральними речовинами, накопичує запаси поживних речовин» [12]. У різних рослин залежно від їх біологічних і морфологічних особливостей ті чи інші функції розвинені більше чи менше, внаслідок чого через безліч їх комбінацій є різноманітні за будовою стебла.

Першоосною будь-якої рослини є жива клітина, являє собою елементарну, відокремлену цілісну систему дуже складної будови і має всі життєві властивості. Клітинна оболонка має значну міцність на розтяг. До складу її найчастіше входить целюлоза (клітковина), геміцелюлоза (напівклітковина) та пектинові речовини. У клітці розрізняють первинну та вторинну оболонку. Вторинна формується на внутрішній поверхні первинною і складається головним чином з целюлози. Переважання останньої визначає високі механічні якості оболонки, особливо міцність на розтяг та еластичність. В оболонці целюлозні молекули зібрані в ниткоподібні субмікроскопічні структури, що отримали назву мікрофібрил. Ці структури являють собою кристалічні та аморфні зони, що чергуються.

Молекули кристалічних зон строго орієнтовані (їх можна подати у вигляді бетонної маси). Групи клітин однакового походження, подібної будови та виконують однакову функцію називають тканинами, які прийнято поділяти

п'ять основних груп: утворюючі, чи меристеми, основні, механічні, провідні, покривні. Розподіл розглянутих тканин щодо один одного – закономірне наслідок виконуваних стеблом механічних функцій (опір статичним та динамічним навантаженням). Звідси під структурою стебла можна розуміти раціональне розподіл тканин відносно один одного, відповідний рівноважному стану виконуваних ними функцій на даному етапі розвитку рослин.

Для всіх рослин характерна радіальна будова стебла, що складається із шкірки та центрального циліндра. Останній складається з паренхімних клітин основної тканини, яка у поперечному перерізі неоднорідна, із зменшенням розміру клітин міцність її зростає. У деяких рослин спостерігається розрив паренхімних клітин центрального циліндра, в результаті чого стебло виходить порожнім (соломина).

У забезпеченні міцності тіла рослини та її органів приймають участь усі його тканини та клітини: живі та мертві. Поряд з тканинами та клітинами, що грають у тілі рослини роль, аналогічну ролі заповнювача залізобетонних конструкціях, в рослинах є тканини та клітини, відповідні арматурі залізобетону, що пронизують (а іноді й обмотують) основну масу.

Тканини зазвичай утворюють в органах рослин складні комплекси. (рис. 1.1 і 1.2), в яких вони пов'язані єдністю походження та розташування. Одним із найпоширеніших комплексів тканин є провідні пучки, які є комплексом трьох тканин: провідної, механічної та основної, кожна з них виконує властиву їй функцію.

Під загальною механічною будовою стебел сільськогосподарських рослин слід розуміти конкретну конструкцію з циліндра основної тканини, армованої провідними пучками і облямованої щільною шкіркою. Вся різноманітність конструкцій стебел обумовлюється розподілом його провідних пучків в основній тканині. Принципи, за якими здійснюється цей розподіл, вперше було виявлено В.Ф. Роздорським. Перший враховує вплив на стебло рослини динамічних навантажень. Відповідно до цього принципу, пучки повинні розташовуватися ближче до осі циліндра, що дозволить їм, подібно до пружин,

акумулювати в собі кінетичну енергію від динамічних навантажень, не передаючи її до основи стебла. Другий враховує вплив на стебло статичних рослин навантажень. Він вказує на необхідність розподілу пучків у периферії циліндра основної тканини. Це збільшує жорсткість та опірність стебла статичним навантаженням.

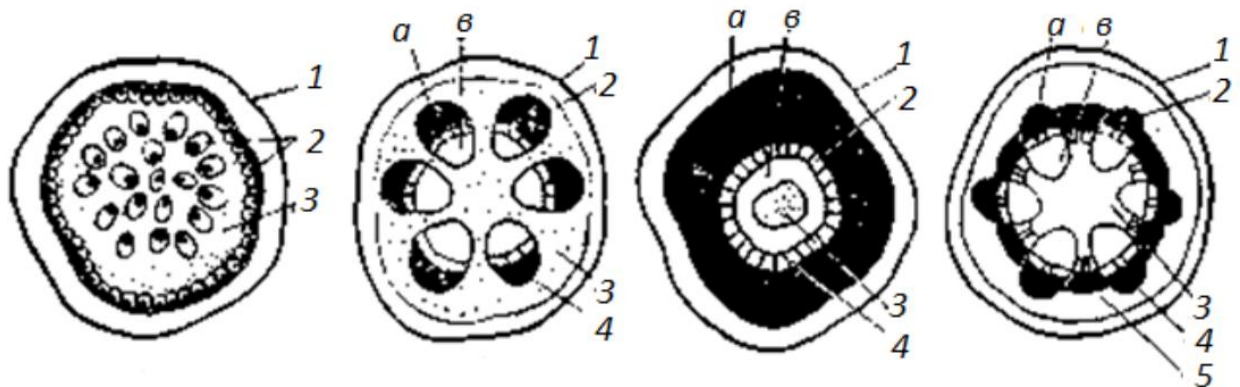


Рисунок 1.1 – Схема розподілу тканин у поперечному перерізі стебла: 1 – шкірка; 2 – провідна тканина; 3 – основна тканина; 4 – пучковий камбій; 5 – міжпучковий камбій: а – флоема; в – ксилема

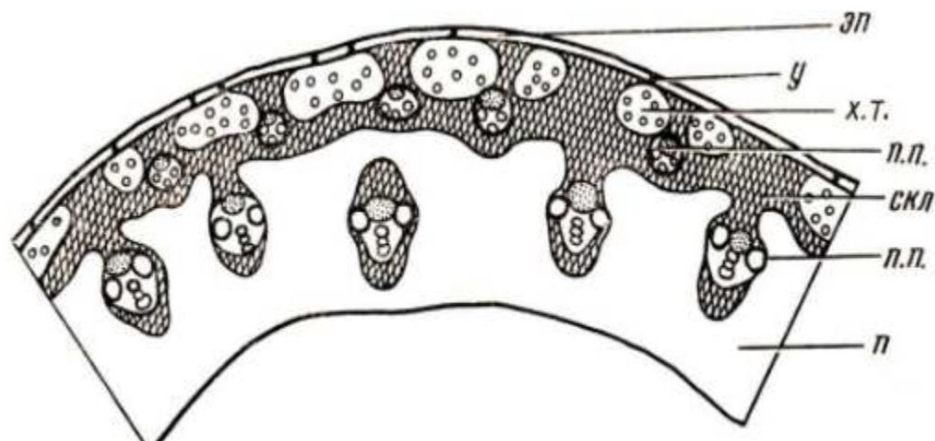


Рисунок 1.2 – Схема будови соломини жита: п – паренхіма; п.п.- закриті колатеральні провідні пучки; скл - склеренхіма; у - продих; х.т. – хлорофілоносна тканина; еп – епідерма

Основним недоліком щодо механіко-технологічних властивостей грубих стеблових кормів є розгляд стебел і шару стебел як однорідного середовища,

однак, виходячи з вищевикладеного, це не зовсім так. Тому необхідно більш поглиблено вивчити структуру будови стебел та визначити її вплив на ефективність процесу подрібнення. А наявний досвід, безумовно, необхідно використовувати в подальших дослідженнях.

## **1.2 Огляд технічних засобів подрібнення стеблових кормів**

Подрібнення грубих кормів – головна умова для найповнішого засвоєння корму тваринами, зумовлена зоотехнічними вимогами та надає йому необхідні технологічні властивості, що визначають легкість його завантаження, вивантаження, транспортування, дозування, змішування та рівномірної роздачі.

Зоотехнічні вимоги здебільшого відносяться до ступеня їх забрудненості, подрібнення та наявності шкідливих домішок. Незалежно від виду кормів та їх призначення вони мають утримувати максимальну кількість поживних речовин, доступних для травлення та засвоєння тваринами; не утримувати чи утримувати мінімально допустиму кількість шкідливих та отруйних речовин, які негативно впливають на стан здоров'я тварин; мати привабливий зовнішній вигляд; бути без ознак псування; відповідати кольору та запаху, характерними для даного корму; відрізнятися високими смаковими якостями.

Дотримання цих вимог забезпечує виконання оптимальних умов протікання біологічних та хімічних процесів у травному тракті тварин, сприяє кращій засвоюваності кормів. Подрібнення грубих кормів у тваринництві здійснюється механізовано за допомогою подрібнювачів кормів.

Оскільки їх робочий процес часто включає відразу кілька технологічних операцій, то такі машини отримали відповідну назву: подрібнювач-роздавальник, подрібнювач-змішувач і т.д. Показовими прикладами можуть бути такі машини: подрібнювач рулонів ПРК-01 (рис. 1.3). Унікальне обладнання дозволяє завантажити, розрізати та роздати щільно спресований рулон із будь-якого виду трави.



Рисунок 1.3 – Подрібнювач рулонів – кормороздавач ПРК-01

Відмінні риси: можливість завантаження рулонів масою до 850 кг; має повністю автономну гідросистему; управління подрібнювачем здійснюється дистанційно з кабіни трактора. Агрегат кормоприготувальний багатофункціональний АКМ-9 (рис. 1.4) - це універсальний причіпний подрібнювач-змішувач. Готує повнораціонну кормосуміш із довговолокнистого сіна, соломи, силосу, комбікорму, харчових добавок, мінералів для ВРХ. Забезпечує дозовану роздачу корму у годівниці тваринам або на кормовий стіл.



Рисунок 1.4 – Міксер-подрібнювач-кормороздавач АКМ-9

Використання АКМ дозволяє готувати корми за заданим раціоном і підвищити їх поїдання, повністю механізувати процес годівлі та знизити витрати на приготування та роздачу кормів.

Як приклад подрібнювача-змішувача з горизонтальними робочими органами можна вказати на кормозмішувач «Miks Maks» (рис. 1.5), що використовує вал з лопатями, на яких приварені ножі, що забезпечує краще перемішування кормової суміші.





Рисунок 1.5 – Кормозмішувач «Mixs Maks»

Подрібнюючі ножі встановлені таким чином, що досягається оптимальний за фізіологічними показниками для жуйних тварин розмір різання (3-5 см). «Mixs Maks» дозволяє змішувати та роздавати будь-які компоненти: грубі, соковиті, концентровані, рідкі (патоки) корми, і навіть зелену масу.

Подрібнювач Н-186 (рис. 1.6) призначений для подрібнення круглих рулонів соломи, сіна та сінажу з максимальним розміром рулону 1,2 x 1,5 м.



Рисунок 1.6 – Подрібнювач рулонів Н-186

Рулон з рівня ґрунту завантажується за допомогою задньої завантажувальної стінки, що приводиться гідравлічним сервомотором. Ротор та ріжучий барабан подрібнювача мають привод від валу відбору потужності трактора ( $540 \text{ хв}^{-1}$ ) через кутовий редуктор та ланцюгову передачу. Гідравлічний привод завантажувальної стінки, нижнього транспортера та вихідного короба живляться від гідравлічної системи трактора. Операції управління гідравлічною системою виконуються з кабіни трактора за допомогою важелів трисекційного гідравлічного розподільника.

Мобільний подрібнювач-роздавач рулонованих грубих (стеблових) кормів (рис. 1.7) призначений для навантаження, транспортування, подрібнення сіна та соломи, заготовлених як рулонованому вигляді, так і в тюках, і роздачі в годівниці тваринам або внесення у вигляді підстилки. При необхідності подрібнювач може переробляти корми, заготовлені у розсипному вигляді. Подрібнювач-роздавач здатний переробляти і рулонувати сінажні корми з їхньою подальшою дозованою роздачею тваринам.



Рисунок 1.7 – Мобільний подрібнювач-роздавач рулонованих грубих (стеблових) кормів

Призначений для подрібнення та роздачі по годівницях сіна або соломи, заготовлених у рулонах, на фермах великої рогатої худоби, а також для внесення підстилки, розкидання подрібнених частинок у стійлах, у теплицях тощо.

В даний час кожен виробник створює більш практичний, універсальний, легкий у виробництві, експлуатації, обслуговування та з найменшими витратами на виробництво мобільний подрібнювач-роздавач грубих кормів.

Щодо стаціонарних технічних засобів, то вони мають доволі суттєву продуктивність, розраховані на великі ферми і їх використання на малих фермах недоцільне, так як вони мають занадто високу продуктивність та потужність.

Роботу подрібнювача оцінюють за його технічними характеристиками: продуктивністю, питомою енергоємністю, якістю подрібнення, які обумовлю-

ють конструктивні параметри. Таким чином, у таблиці 1.1 проаналізовано порівняльні характеристики стаціонарних подрібнювачів.

Таблиця 1.1 – Показники ефективності подрібнювачів стеблових кормів

Марка	Продуктивність, т/год	Потужність, кВт	Питома енергоємність, кВт · год/т
РПК-88	5,0	60	12
ПРК-145	3,2	50	16
ПСН-1,8	1,8	48	27
ПСС-180	2,8	50	18
ПР-1,8	4,0	55	15
ПРР-1М	2,1	42	20
КР-02	0,4	4,2	11
НХ	0,25	3,0	13

### 1.3 Огляд наукових досліджень процесу роботи подрібнювачів

Дослідження вчених та досвід подрібнення стеблових кормів подрібнювачами встановили, що подрібнення важливий технологічний процес при подрібненні кормів, що потребують значних енерговитрат. У цілі та завдання цих досліджень процесу подрібнення кормів, входить до розгляду технології та технічних засобів механізації подрібнення для обґрунтування теоретичних та експериментальних напрямів досліджень з вдосконалення механізованих процесів. Витрата енергії на подрібнення може бути визначена з існуючих теорій подрібнення.

Повна робота зовнішніх сил виражається рівнянням Ребіндера

$$A = A_d + A_n = K_1 \Delta V + K_2 \Delta F, \quad (1.1)$$

де  $A_d$  - робота на деформацію об'єму матеріалу, Дж;

$A_n$  - робота, що витрачається на утворення нової поверхні, Дж;

$K_1$  - коефіцієнт пропорційності, рівний роботі деформування одиниці об'єму тіла;

$\Delta V$  - зміна об'єму тіла, що руйнується;

$K_2$  – коефіцієнт пропорційності, що дорівнює роботі, що витрачається на утворення одиниці нової поверхні;

$\Delta F$  - збільшення новоутвореної поверхні

Аналізуючи вищесказане вважаємо, що дослідження та розробка з низькою питомою енергоємністю, високоефективних конструкцій машин подрібнення стеблових кормів має першорядне значення на сучасному етапі сільськогосподарського виробництва. І вони мають розвиватися у напрямі зниження енерговитрат.

Можна зазначити, що в даний час переважають два шляхи розробки та створення нових машин, що дозволяють ефективно подрібнювати стеблові корми.

Перше, це коли при використанні існуючих технологій приготування стеблових кормів йде вдосконалення робочих органів, конструкцій, робочого процесу подрібнення. При цьому основним моментом є енергозбереження. А другий напрямок - це розробка машин на основі енергозберігаючих технологій у подрібненні кормів.

Таким чином, щоб оцінити енергоємність подрібнювального пристрою необхідно знати продуктивність, яка залежить від конструктивно-режимних параметрів від характеристики вихідної сировини, ступеня подрібнення.

Основними показниками роботи машин з подрібнення кормів є продуктивність, ступінь подрібнення та якість подрібнення, питома енергоємність подрібнення.

На підставі досліджень щодо підвищення ефективності технічних засобів приготування кормів у тваринництві, отримані математичні моделі процесу зміни ступеня подрібнення в залежно від кількості частинок і з урахуванням її максимально досяжного значення.

$$L_n = N/n_0, \quad (1.2)$$

де  $L_n$  - гранично допустимий ступінь подрібнення, який визначається конструкцією машини, режимом її роботи, властивостями подрібнюваного матеріалу, яка окреслюється ставлення.

Розроблено загальні рівняння кінетики процесу (процесу подрібнення матеріалів у часі) дроблення, на підставі яких отримані методи аналізу впливу різних чинників ефективність робочого процесу. Встановлено закономірності зміни основних показників роботи: ступеня подрібнення від часу перебування матеріалу у робочій камері; модуля помелу (середнього розміру частинок), питомої енергії витрат. Отримано моделі регресії.

Для забезпечення надійного регулювання модуля помелу в машині та обґрунтування внутрішньої поверхні робочої камери запропоновано нові технічні рішення у конструкціях багатоцільових подрібнювачів кормів. Аналізуючи дослідження щодо підвищення ефективності процесу та технічних засобів механізації подрібнення кормів, проведені Альошкіним В.Р. можна зробити висновки про те, що організація подрібнення кормів багатоступінчастою схемою є ефективним засобом зниження енерговитрат та покращення якості продуктів подрібнення. Їм розроблено метод оптимізації багатоступінчастого подрібнення кормів. Отримані аналітичні вирази дозволяють знайти оптимальний розподіл ступеня подрібнення між ступенями послідовного процесу.

Розроблено методику розрахунку та обґрунтовано прийоми підвищення ефективності багатоступінчастої схеми подрібнення кормів із проміжним відбором товару. При керуванні процесом за масою циркулюючого навантаження

і за співвідношенням між ступенями подрібнення, виходячи з критерію мінімуму енерговитрат.

Теоретичні дослідження, проведені Башковим А.Ф., робочого процесу двох роторного подрібнювача грубих кормів відкритого типу дозволили: отримати аналітичні залежності для розрахунку ударного імпульсу одиночного стебла по дрібній лопатці, за допомогою яких можна оцінити ймовірність руйнування стебла; отримати формули для розрахунку пропускної спроможності та питомих витрат енергії; розроблено методику інженерного розрахунку двох роторного подрібнювача грубих кормів відкритого типу.

Дослідження здійснені Корбанєвим С.В. з питання вдосконалення процесу змішування кормів та обґрунтування параметрів подрібнювача-змішувача дозволили визначити продуктивність машини при подрібнення силосу .

$$Q_c = 0,5\pi(R_{\sigma}^2 - R_{\delta}^2)\rho_c v_n , \quad (1.3)$$

де  $R_{\sigma}$  - радіус бункера, м;

$R_{\delta}$  - радіус диска, м;

$\rho_c$  - відстань до площини руху частки, м;

$v_n$  - швидкість руху частки, м/с.

Отримано аналітичні вирази для визначення величини технологічного зазору, потужності та інших показників.

Сарбатовой Н.Ю. були проведені дослідження з питання удосконалення процесу приготування та роздачі грубих кормів рулонної заготівлі.

В результаті теоретичних досліджень отримано формулу продуктивності роздавача-подрібнювача грубих кормів:

$$Q = \frac{(1-\varepsilon)L\rho V_{\sigma}}{6n\lambda} \sum_{i=1}^n (R-ih) \frac{(i^3 - (i-1)^3)}{i^2} , \quad (1.4)$$

де  $\rho$  - щільність матеріалу рулону, кг/м<sup>3</sup>;

$L$  - діаметр рулону, м;

$i$  - ий - оборот рулону;

$\lambda$  - показник кінематичного режиму;

$\varepsilon$  - коефіцієнт прослизання транспортера щодо рулону;

$V_{\sigma}$  - швидкість обертання подрібнюючого барабана, м/с.

Енергоємність потужності при різанні одного рулону дорівнює:

$$N = \frac{1}{4\pi} \frac{C_v V_{\text{тр}} k_H}{k_{\text{уп}} n} \cdot \left( \delta \sigma_p + \frac{E h_{\text{сж}}^2}{2h} [\text{tg} \beta + f \sin^2 \beta + \mu(f + \cos^2 \beta)] \right)^2 \sum_{i=1}^n \left( \frac{R - ih}{R - h} \right)^2 \frac{i^3 - (i-1)^3}{i^2} \quad (1.5)$$

де  $\delta$  - товщина леза, м;

$\sigma_p$  - руйнуюче контактне напруження;

$f$  - коефіцієнт тертя маси про матеріал;

$\varphi$  - кут тертя, град;

$h_{\text{сж}}$  - заглиблення леза у шар матеріалу товщини, м;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

$E$  - модуль Юнга.

Внаслідок теоретичного дослідження Сергієнко А.Г. питання удосконалення процесу підготовки грубих кормів та підстилки подрібнювачем з похилим бункером, що обертається, були отримані формула продуктивності подрібнювача, потужності. Виробничою перевіркою було встановлено, що технологічний процес обробки рулонів ножовим подрібнюючим апаратам відрізняється високою ефективністю, а введення протирізальних елементів у подрібнюючий робочий орган молоткового типу дозволяє регулювати якісні показники процесу та забезпечує вміст фракцій 30-50 мм у подрібненому кормі відповідно до зоотехнічних вимог.



## **1.4 Висновки**

За результатами проведеного аналізу можна сказати, що існує проблема: є спектр машин, призначених для подрібнення стеблових кормів, але аналіз показників питомої енергоємності цих технічних засобів показав, що вони досить високі. В умовах малих форм господарювання необхідний агрегат, який виконує функції приготування кормів у поєднанні з фінансовими можливостями споживача, але для малих форм господарювання таких машин розроблено мало. Таким чином, необхідно технічний засіб з низькою енергоємністю, щоб підвищити ефективність роботи у фермерських господарствах, приватних господарствах та інших малих фермах.

## 2 Теоретичні дослідження процесу подрібнення стеблових кормів різанням

### 2.1 Теоретичні передумови процесу

До реалізації нами пропонується схема малогабаритного вертикально-дискового подрібнювача стеблових кормів оснащеного криволінійними ножами.

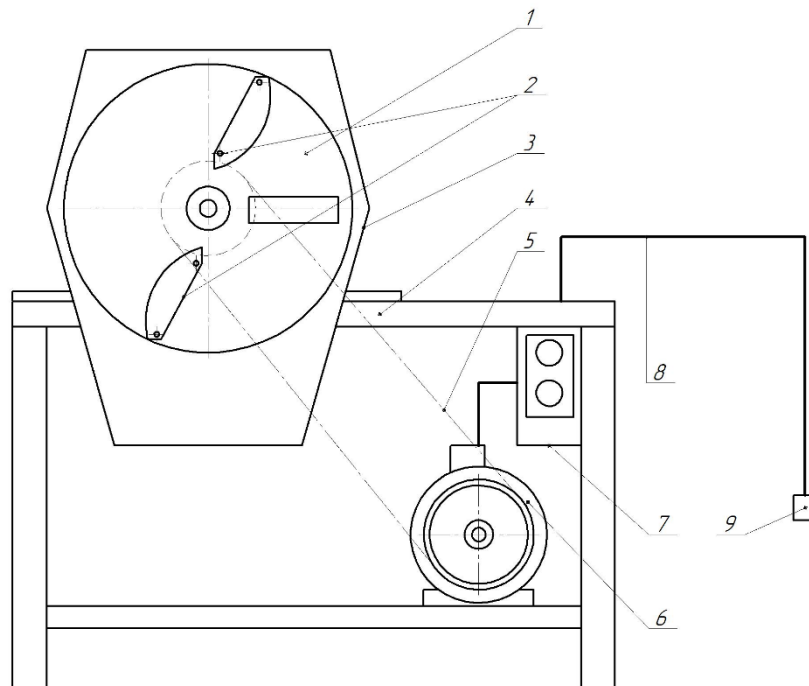


Рисунок 2.1 – Конструкційна схема вертикально-дискового подрібнювача стеблових кормів: 1 – диск; 2 – ніж; 3 – корпус; 4 – рама; 5 – пасова передача; 6 – електропривод; 7 – пульт керування; 8 – мережевий кабель; 9 – триполюсна електрична вилка

Пропонований подрібнювач відрізняється від прототипу формою та кутом встановлення ножів, тому далі проведемо теоретичне обґрунтування криволінійного леза та кута його встановлення до осі обертання диску.

Процес різання лезом пучка стебел складається із двох етапів: попереднього ущільнення і, власне, різання (рис. 2.2).

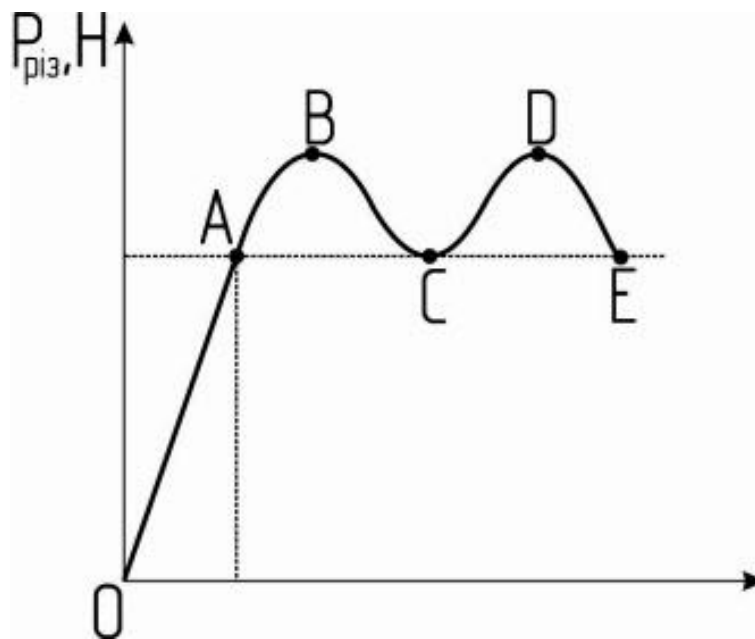


Рисунок 2.2 - Схема процесу різання пучка стебел

Попереднє ущільнення здійснюється вальцями /ділянка OA/ і лезом /ділянка AB/. Різання супроводжується зниженням зусилля різання /ділянка BC/.

Можна також сказати, що на ділянці OA, AB і т.д. відбуваються пружні деформації, а на ділянці BC, DE, і т.д. – пластичні з руйнуванням матеріалу.

Як видно з діаграми, процес різання починається при досягненні силою стиску якоїсь критичної величини, що перевищує опір матеріалу руйнуванню.

Силу стиску ножа (рис. 2.3), здатну збудити процес різання, називають критичною силою  $P_{кр}$ , і її можна визначити з виразу:

$$P_{кр} = P_{різ} + F_{T1} + F_{T2} \cdot \cos\beta, \quad (2.1)$$

де  $P_{\text{різ}}$  – опір різанню лезом, Н;

$F_{T1}$  – сила тертя, обумовлена дією бічного тиску, що виникає при входженні клина в шар, що перерізується, Н;

$F_{T2}$  – сила тертя на фасці ножа, обумовлена тиском з боку руйнуемого матеріалу, Н;

$\beta$  – кут заточення ножа, град.

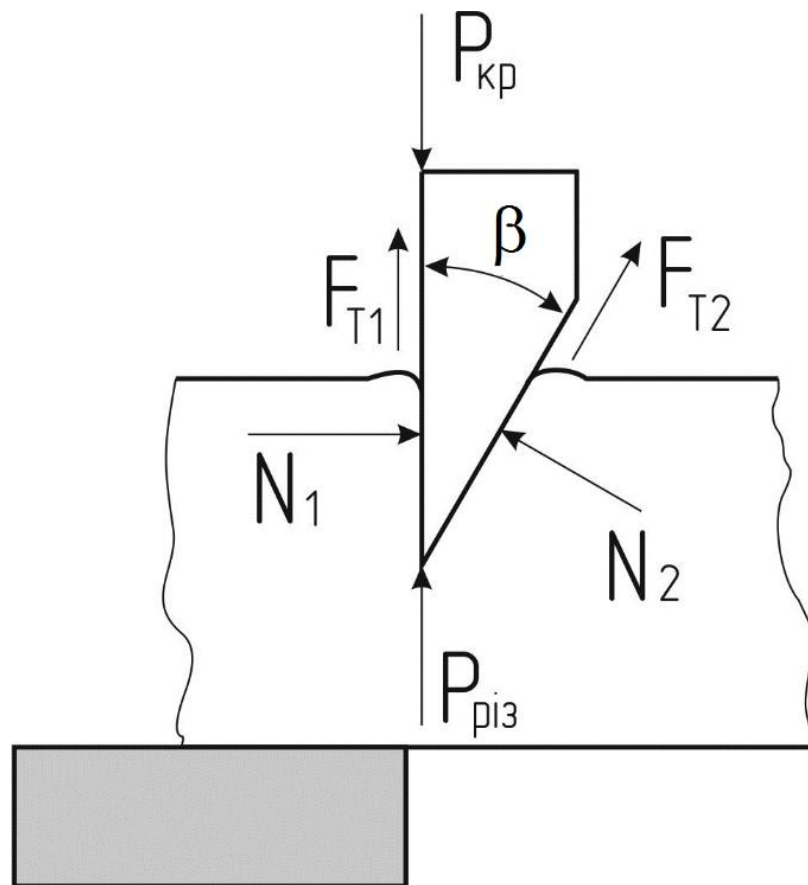


Рисунок 2.3 - Схема до визначення критичної величини сили стиску

Із трьох доданків найбільшу величину має сила різання, величину якої проф. Резнік Н. Е. пропонує визначати по формулі:

$$P_{\text{різ}} = \delta \cdot \Delta s \cdot \sigma_p ,$$

де  $\delta$  – товщина крайки леза, м ;

$\Delta s$  – довжина активної частини леза, м;

$\sigma_p$  – нормальне контактне руйнівне напруження шару, що розрізається,

Па.

З наведених формул видно, що критична сила залежить від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу  $[f, \sigma_p]$  та параметрів леза  $[\delta, \Delta s]$ .

Розглянемо умови, за яких буде забезпечуватись защемлення матеріалу між ножем і протирізальною пластиною.

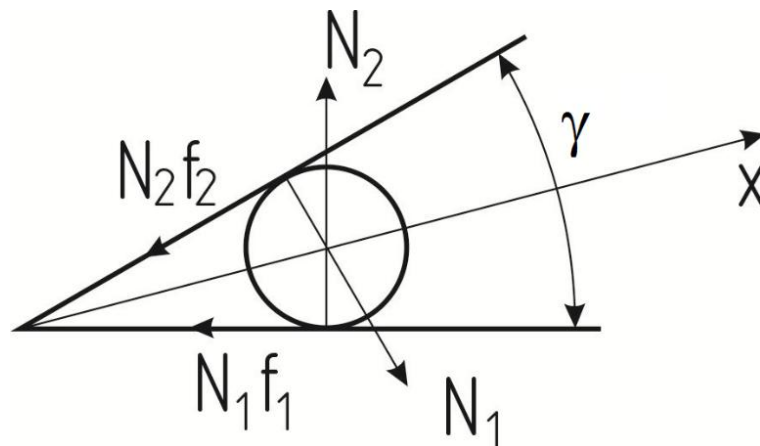


Рисунок 2.4 - Схема дії сил на стебло

Умовою защемлення буде:

$$N_1 \cos \frac{\gamma}{2} + N_2 \cos \frac{\gamma}{2} \leq N_1 f_1 \sin \frac{\gamma}{2} + N_2 f_2 \sin \frac{\gamma}{2}, \quad (2.4)$$

де  $N_1, N_2$  – реакції на стебло від ножа та протирізальної пластини відповідно;

$f_1, f_2$  - коефіцієнти тертя стебла по лезу та по протирізальній.

Тоді визначення кута защемлення:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \leq \frac{N_1 f_1 + N_2 f_2}{N_1 + N_2}. \quad (2.5)$$

Якщо коефіцієнти тертя  $f_1$  та  $f_2$  рівні, отримаємо:

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} \leq \frac{f(N_1 + N_2)}{N_1 + N_2} \leq \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.6)$$

Тому защемлення буде гарантовано за такої умови

$$\gamma \leq 2\varphi_{\min}, \quad (2.7)$$

де  $\varphi_{\min}$  - мінімальний кут тертя матеріалу об лезо.

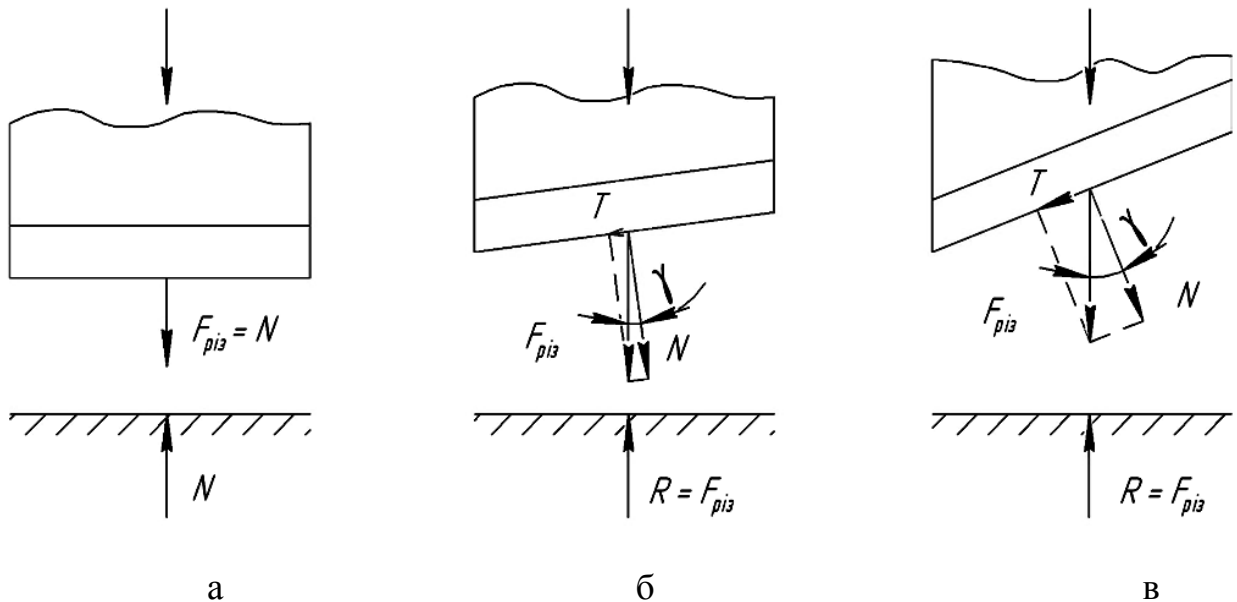


Рисунок 2.5 - Схеми видів різання лезом ножа: а – нормальне ( $\gamma = 0$ ); б – похиле ( $\gamma < \varphi_1 + \varphi_2$ ); в – ковзне ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ )

Геометричні параметри різальної пари ножового апарата відносять до групи, що знаходяться в площині різання до яких належать: кут защемлення  $\chi$  та кут нахилу леза  $\tau$ . Кут защемлення  $\chi$  – це кут утворений між лезом ножа та протирізальною пластиною. Кутом нахилу леза  $\tau$  вважається кут утворений між напрямом руху розглядуваної точки леза і нормаллю до цієї точки. При певних значеннях  $\tau$  цей кут називають кутом ковзання. В залежності від величини  $\tau$  нахилу леза ножа процес різання буде проходити по різному. У зв'язку із цим у теорії різання лезом виділяють три види різання: нормальне, похиле (нахилене) і ковзне (рис. 2.5).

Величина  $q$  залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, його вологості і гостроти ножа. У міру затуплення леза ножа величина  $q$  збільшується.

## 2.2 Моделювання роботи дискового подрібнювача стеблових кормів

Враховуючи те, що дискові подрібнювачі стеблових кормів простіші за конструкцією, менш матеріаломісткі та більше пристосовані до використання у приватному секторі, проведемо моделювання робочого органу такого типу.

Питомим тиском називається відношення нормальної діючої сили до завантаженої частини леза ножа (рис. 2.6):

$$q = \frac{N}{\Delta S} . \quad (2.8)$$

Моделювання виконаємо виходячи з динаміки робочого органу та його енергетичних показників.

Розглянемо схему сил, що діють із боку леза ножа на матеріал (рис. 2.6).

Якщо рівнодіюча  $R$  сил опору різанню, прикладена в точці «m», то для подолання цього опору з боку ножа повинна бути прикладена сила різання  $P_{\text{різ}}$ , рівна по величині  $R$  і протилежно спрямована їй.

Розкладемо силу  $P_{\text{різ}}$  на нормальну складову  $N$  і тангенціальну  $T$ , тоді:

$$M_{\text{різ}} = N \cdot r \cdot \cos \gamma + T \cdot r \cdot \sin \gamma. \quad (2.9)$$

Із умови  $T/N = f' = \operatorname{tg} \varphi$

$$T = N f', \quad (2.9)$$

де  $f'$  - коефіцієнт ковзного різання.

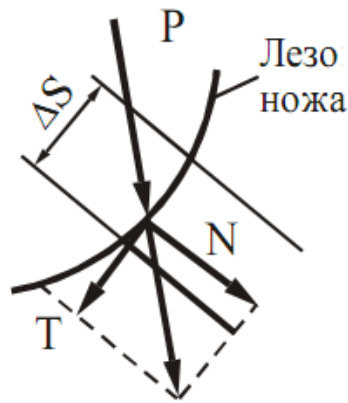


Рисунок 2.6 – До визначення питомого тиску

Тоді момент різання:

$$M_{\text{різ}} = N \cdot r \cdot \cos \gamma + f' \cdot N \cdot r \cdot \sin \gamma \quad \text{або} \quad M_{\text{різ}} = N \cdot r \cdot \cos \gamma (1 + f' \cdot \operatorname{tg} \gamma) \quad (2.11)$$

Враховуючи умову (2.8):

$$N = q \cdot \Delta S, \quad (2.12)$$

кінцеве значення моменту різання





Для вибору кутів ковзання, найвигідніших по мінімальній витраті енергії на процес різання, визначаємо по кривій (рис. 2.8) таку ділянку, на якій мінімальне значення питомої роботи на початку і наприкінці не перевищує 5%. Кути ковзання цієї ділянки на осі абсцис і будуть шуканими кутами ковзання  $\gamma_{\min}$  і  $\gamma_{\max}$ .

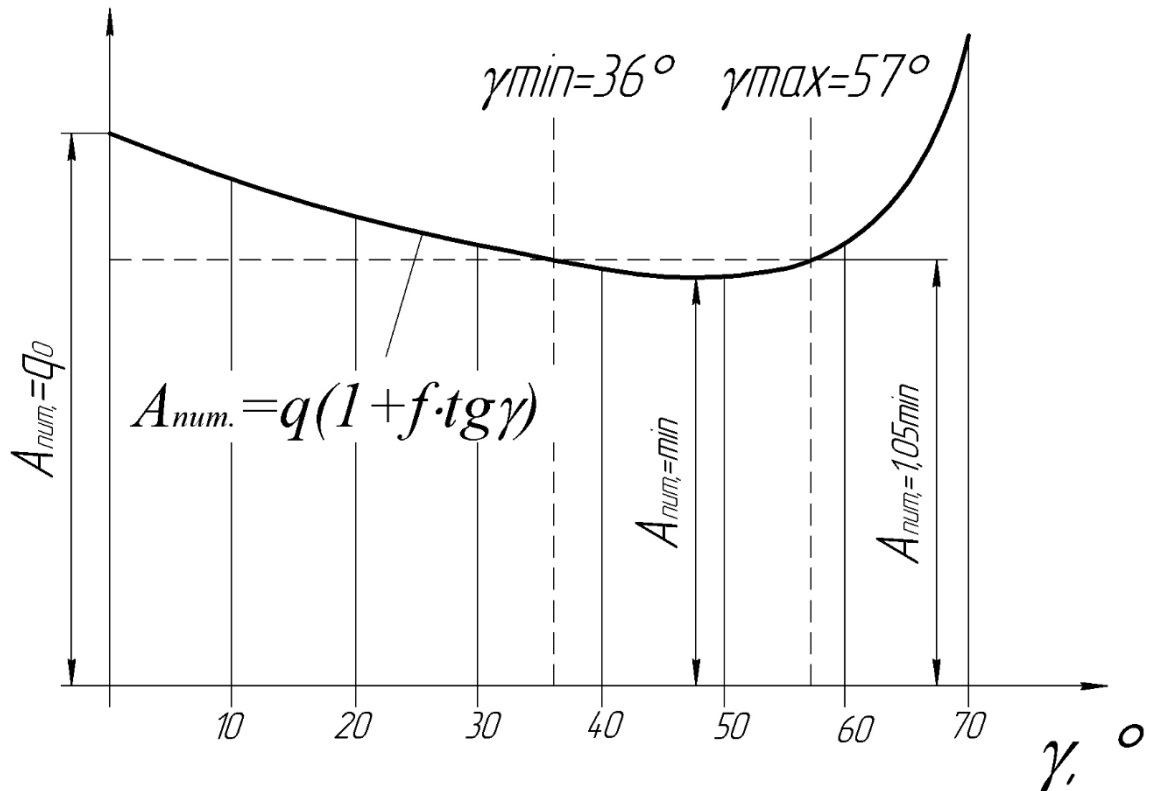


Рисунок 2.8 – Залежність питомої роботи від кута нахилу леза

При кутах у межах  $36 \dots 48 \dots 57^\circ$  забезпечуються найменші енергетичні витрати. Аналізуючи формулу  $M_{різ}$ , можна зробити висновок, що його величина змінюється від нуля до  $M_{різ \max}$  і від  $M_{різ \max}$  до нуля.

### 2.3 Дослідження впливу трансформації кута загострення леза у процесі різання

Похиłe і ковзне рїзання (рис. 2.6 б, в) у порївняннї із нормальним (рис. 2.6, а), також вїдбувається пїд дїєю нормальної сили  $N$ , але уже із їншим кутом загострення  $\beta_1$  (рис. 2.9). У цьому випадку спостерїгається зменшення необхідного питомого зусилля, що вїдбувається внаслїдок зменшення початкового кута загострення  $\beta$ . Вперше дане явище вїдкрив проф. Н.Ю. Резнїк, яке одержало назву кїнематична трансформація (вїд лат. transformation – змїна, перетворення) кута загострення, величину якого можна знайти скориставшись формулами:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}}; \quad \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{\operatorname{tg} V_n}{\sqrt{V_n^2 + V_t^2}} \quad (2.16)$$

де  $\beta$  – кут загострення ножа, град;

$\varepsilon$  - коефїцієнт ковзання;

$V_n, V_t$  - вїдповїдно нормальна і тангенціальна (дотична) складовї швидкостї рїзання, м/с.

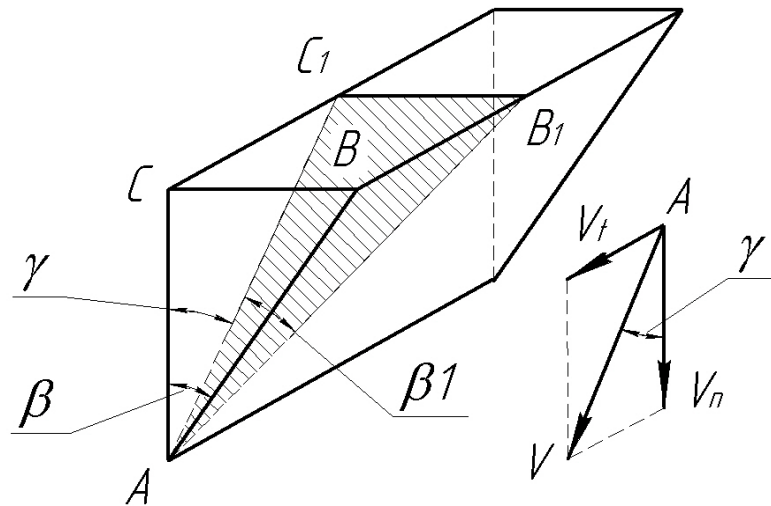


Рисунок 2.9 - Схема до визначення трансформації кута загострення ножа  $\beta_1$

Для робочого процесу різальної пари, дисковий ніж – протирізальний елемент, основне значення мають такі параметри як: нормальний тиск леза ножа на листостебловий матеріал  $N$ , бокове (дотичне) переміщення ножа  $T$  і кут загострення леза  $\beta$ . Кількісне співвідношення між цими параметрами характеризується значеннями коефіцієнта ковзання  $\epsilon$ , коефіцієнта ковзного різання  $f'$  і коефіцієнта трансформації кута загострення  $k$ . Вперше поняття коефіцієнта ковзання ввів В.П. Горячкін, що являє собою відношення дотичної (тангенціальної) складової швидкості  $V_\tau$  до нормальної складової  $V_n$ .

Під поняттям коефіцієнт трансформації  $k$ , введений Н.Ю. Резніком, розуміють відношення різниці між дійсним кутом загострення  $\beta$  і трансформованим  $\beta_1$  до дійсного  $\beta$ :

$$k = \frac{\beta - \beta_1}{\beta} = \frac{\beta - \arctg(\tg\beta \cdot \cos\gamma)}{\beta}, \quad (2.16)$$

Він показує, на яку долю початкового кута зменшується кут загострення від його трансформації, і дозволяє визначати величину  $k$  трансформованого кута леза. Встановимо залежність зміни кута загострення  $\beta_1$  та коефіцієнта трансформації  $k$  плоского дискового ножа різального апарата від величини кута ковзання  $\gamma$ . Для цього розглянемо взаємодію дискового ножа і пучка листостеблової маси (рис. 2.10) Приймаємо, що дисковий ніж (рис. 2.10, а) обертається із постійною кутовою швидкістю  $\omega_d$  і розрізає пучок трав'яної маси. Припустимо, що в даний момент часу рівнодіюча  $R$  прикладена у точці  $A$  і для її подолання необхідно прикласти, зі сторони ножа, рівну їй і протилежно направлену (рівнодіючу) силу  $F_{різ}$ . Швидкість точки  $A$  на крайці дискового ножа  $V$  відносно перерізаючого пучка можна представити у вигляді векторної суми двох швидкостей: нормальної  $V_n$ , і тангенціальної  $V_\tau$ .

$$V = \sqrt{V_n^2 + V_\tau^2}, \quad (2.16)$$

Із схеми видно (рис. 2.10, а), що кут між векторами  $V_n$  і  $V$  рівний куту ковзання  $\gamma$ . Проведемо переріз А-А ножа площиною, яка перпендикулярна площині дискового ножа і паралельна швидкості  $V$ . В перерізі А-А одержимо клин висотою  $h_2$  з кутом  $\beta_1$  у вершині (рис. 2.10, а). Цей кут  $\beta_1$  і є зміненим (трансформованим) кутом загострення леза ножа. Аналогічно розглянутій схемі побудуємо схему (рис. 2.10, б) до визначення зміни кута загострення  $\beta_1$  дискового ножа із більшим кутом ковзання  $\gamma$

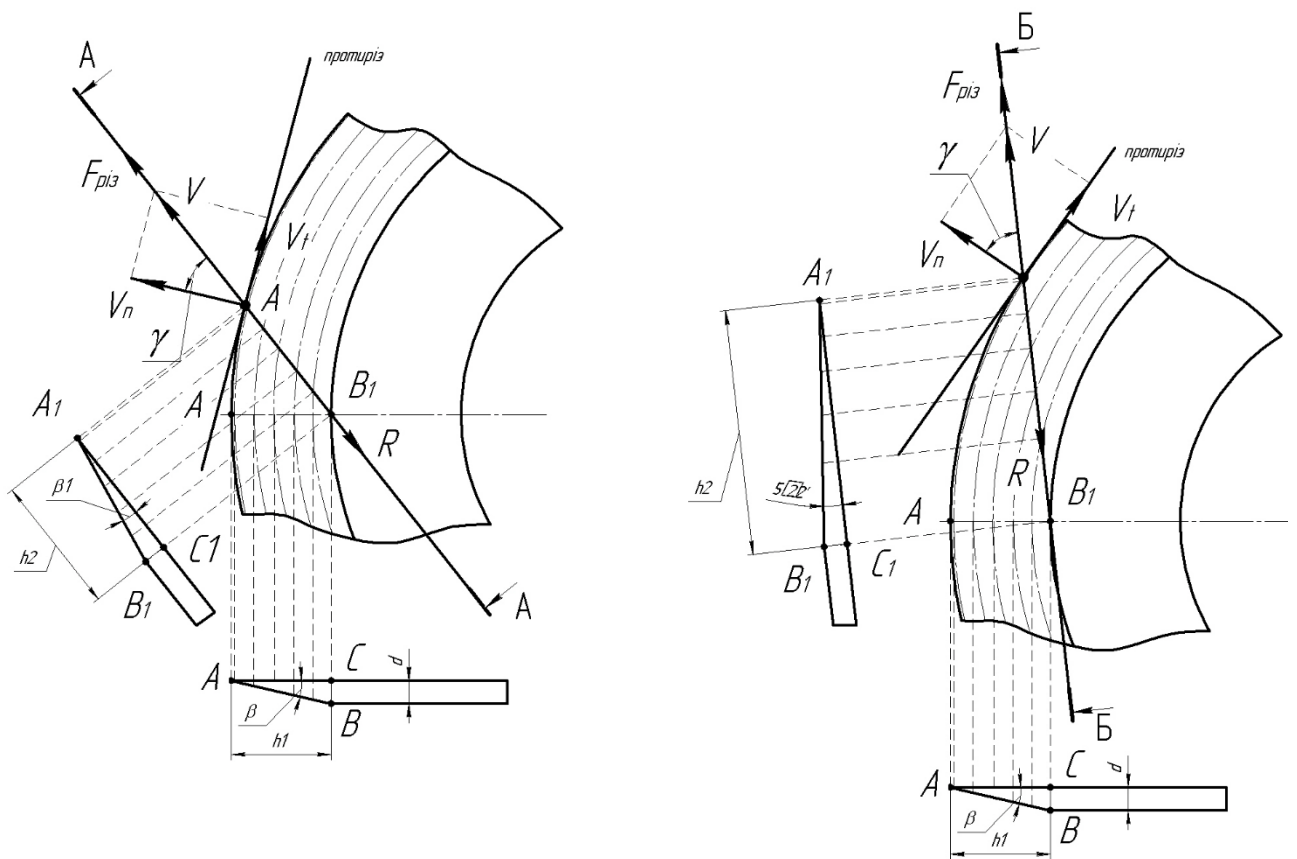


Рисунок 2.10 - Схема до визначення трансформації

Встановимо закономірність зміни кута загострення  $\beta_1$  в залежності від величини кута ковзання  $\gamma$ , розглядаючи трикутники  $\triangle ABC$  і  $\triangle AB_1C_1$ , наступним чином (рис. 2.9): кута загострення леза  $\beta_1$  дискового ножа

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{BC}{AC} = \frac{d}{h_1}; \quad \operatorname{tg}\beta_1 = \frac{B_1C_1}{AC_1} = \frac{BC}{AC_1} = \frac{d}{h_2}, \quad (2.17)$$

Оскільки,  $BC = d = h_1 \cdot \operatorname{tg}\beta$ ,  $B_1C_1 = d = h_2 \cdot \operatorname{tg}\beta_1$ , а  $\cos\gamma = \frac{AC}{AC_1} = \frac{h_1}{h_2}$ ,

$$\text{Маємо, що } h_1 \cdot \operatorname{tg}\beta = h_2 \cdot \operatorname{tg}\beta_1; \quad \operatorname{tg}\beta_1 = \frac{h_1}{h_2} \operatorname{tg}\beta; \quad \operatorname{tg}\beta_1 = \operatorname{tg}\beta \cdot \cos\gamma$$

$$\text{Звідки } \beta_1 = \operatorname{arctg}(\operatorname{tg}\beta \cdot \cos\gamma).$$

(2.18)

Залежності зміни кута загострення  $\beta_1$  дискового ножа і коефіцієнта трансформації  $k$  від величини кута ковзання  $\gamma$  представлено на рисунку 2.11, 2.12. Характерно, що закономірність трансформації кута загострення, залежно від кута ковзання  $\gamma$ , для лез з різним початковим кутом  $\beta$  – різна (рис. 2.11).

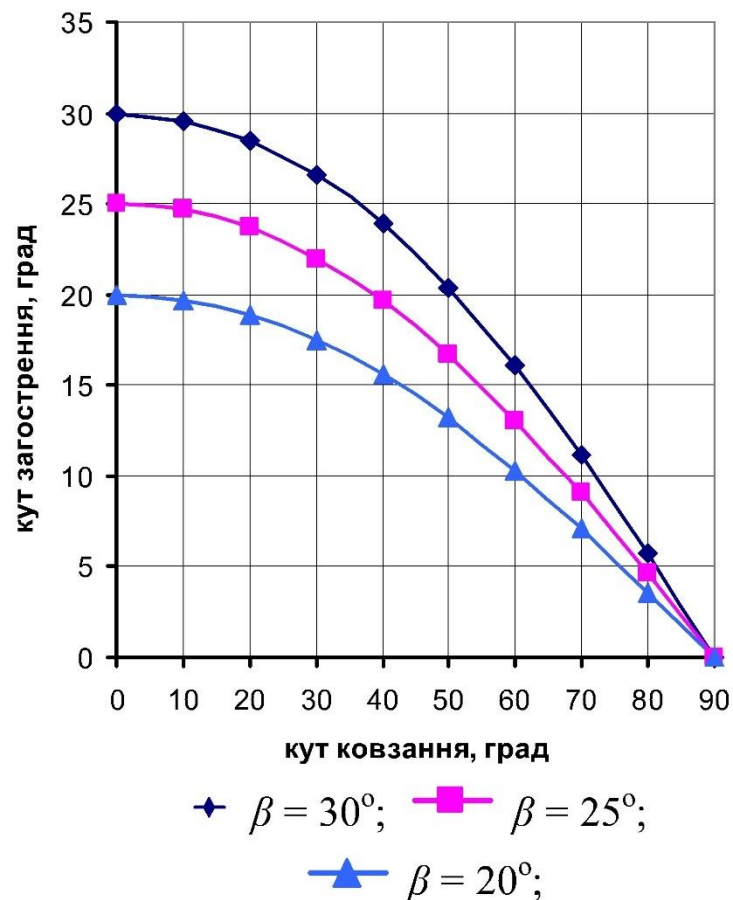


Рисунок 2.11 - Вплив величини кута ковзання  $\gamma$  дискового ножа на зміну його кута загострення  $\beta_1$

Як бачимо (рис. 2.12), при куті ковзання  $\gamma = 30^\circ$  для ножа із початковим кутом загострення  $\beta = 20^\circ$  коефіцієнт трансформації становить  $k = 0,125$ , для  $\beta = 25^\circ$   $k = 0,124$ , і  $\beta = 30^\circ$   $k = 0,113$ . При збільшенні кута ковзання у два рази  $\gamma = 60^\circ$  коефіцієнт трансформації приймає наступні значення для  $\beta = 20^\circ$   $k = 0,485$ ; для  $\beta = 25^\circ$   $k = 0,476$  і для  $\beta = 30^\circ$   $k = 0,460$ . Тобто, при різанні пучка трав'яної маси із кутом ковзання  $\gamma = 60^\circ$  кут загострення ножа  $\beta_1$  зменшується майже у два рази.

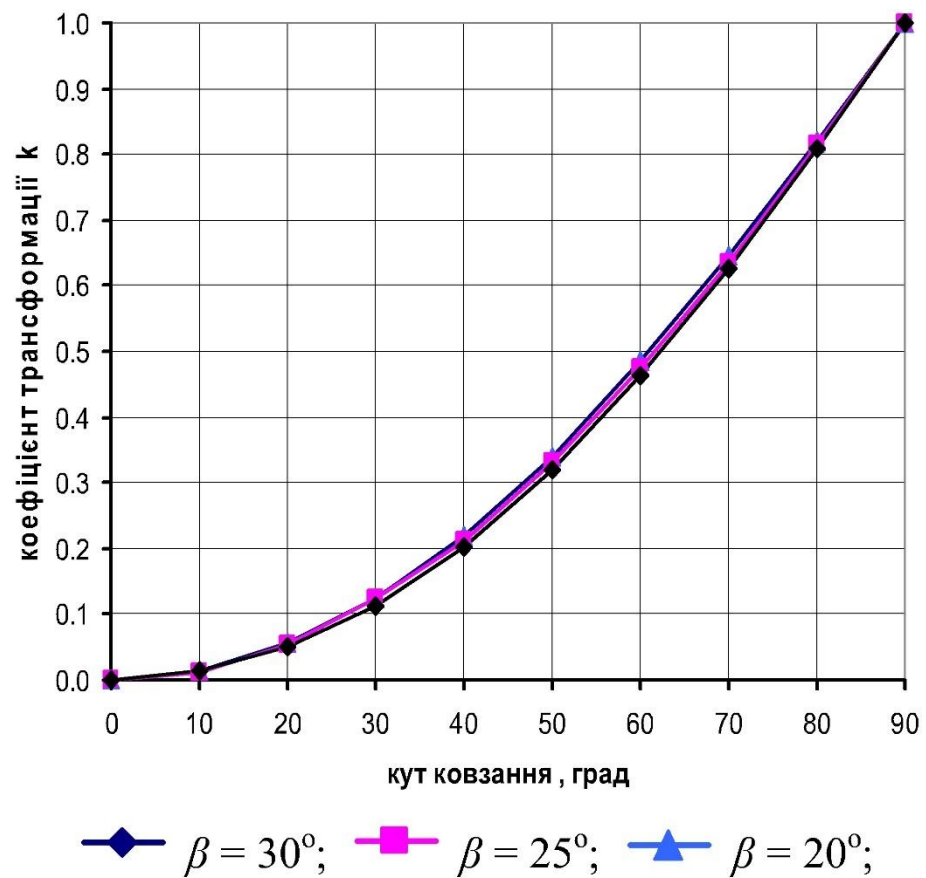


Рисунок 2.12 - Залежність коефіцієнта трансформації  $k$  від величини кута ковзання  $\gamma$

Для дискового ножа, на відміну від пластинчатого, кут ковзання не є постійною величиною і залежить від кута повороту диска  $\theta$ :

$$\gamma = \operatorname{arctg}\left(\frac{\varepsilon - \cos \theta}{\sin \theta}\right), \quad (2.19)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт ковзання.

Аналізуючи результати досліджень кута ковзання дискового ножа, можна стверджувати те, що при  $0 < \varepsilon < 1$  дисковий ніж містить ділянки леза які працюють як у режимі похилого так і ковзного різання. При  $\varepsilon = 1$  можна вважати режим роботи дискового ножа, що відповідає різанню із поздовжнім переміщенням без ковзання ( $\gamma < \varphi_1 + \varphi_2$ ). Якщо ж  $\varepsilon > 1$ , тобто значення кута ковзання більше значення кута тертя на всій ділянці дуги леза ножа ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ ), то має місце ковзне різання (рис. 2.13).

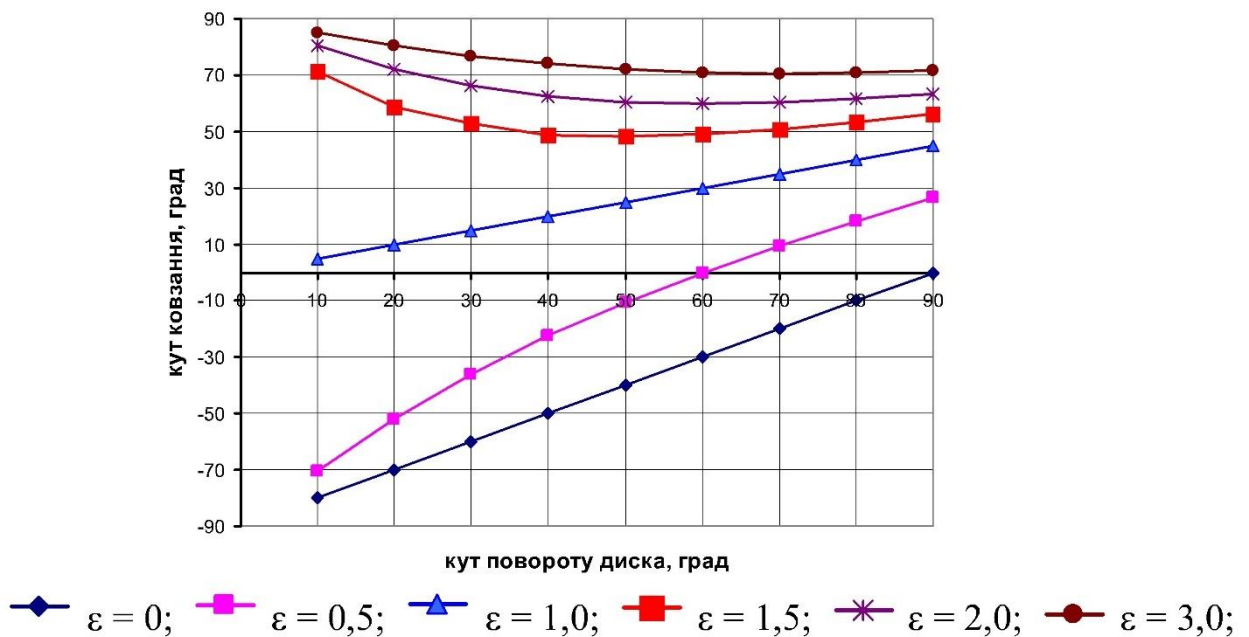


Рисунок 2.13 - Залежність кута ковзання  $\gamma$  від кута повороту диска  $\Delta\theta$  при різних значеннях коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$

Встановимо залежність  $\beta_1 = f(\Delta\theta)$  зміни кута загострення леза  $\beta_1$  дискового ножа від його повороту  $\Delta\theta$  відносно пучка трав'яної маси. Для цього скористаємось залежністю для визначення тангенціальної складової швидкості для дискового ножа у будь-якій точці леза:



$$V_{\tau} = (\omega_{\delta} \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos \Delta\theta, \quad (2.20)$$

де  $\omega_{\delta}$  - кутова швидкість обертання дискового ножа,  $\text{с}^{-1}$  ;

$r_{\max}$  - максимальний радіус дискового ножа, мм;

$V_n$  - швидкість подачі матеріалу на диск, мм/с.

$\Delta\theta$  - кут повороту дискового ножа, град.

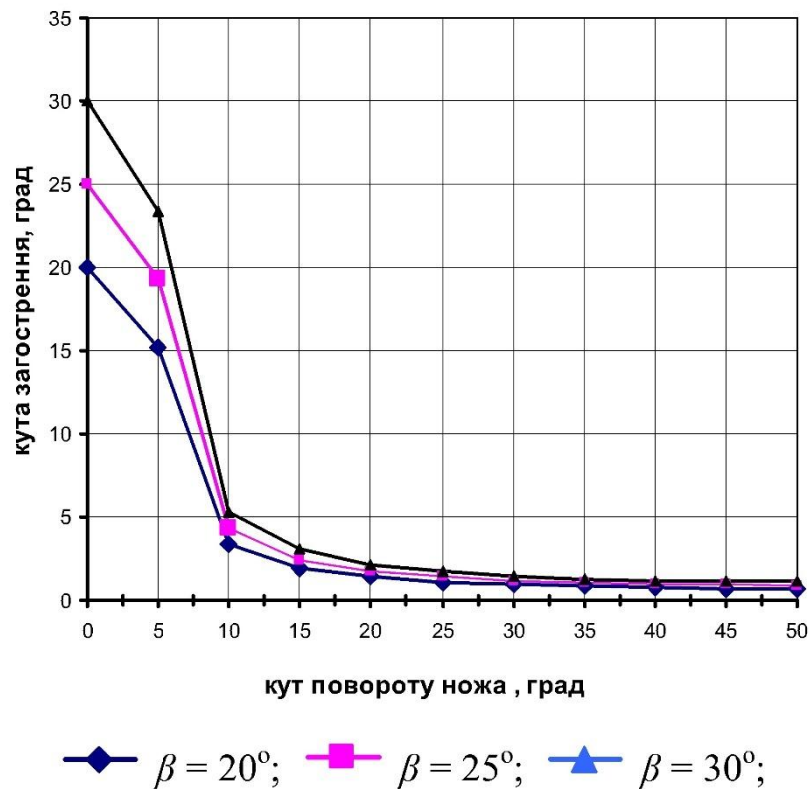


Рисунок 2.14 - Залежність зміни кута загострення  $\beta_1$  дискового ножа від його кута повороту  $\Delta\theta$

Під будь-якою точкою леза, слід розуміти ту точку, що знаходиться на відрізку  $AB_1$  (рис. 2.8), утвореного при перерізі площиною перпендикулярній дисковому ножу під кутом  $\gamma$  до  $V_n$  у точці А.

$$\varepsilon = \frac{V_{\tau}}{V_n} = \frac{(\omega_{\delta} \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos \Delta\theta}{V_n}. \quad (2.21)$$

Таким чином формула для визначення зміненого (трансформованого) кута загострення леза диска матиме вигляд:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sqrt{1 + \left[ \frac{(\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos\Delta\theta}{V_n} \right]^2}}. \quad (2.21)$$

Встановимо величину зміни кута загострення трьох дискових ножів із  $\beta = 20^\circ$ ,  $25^\circ$  і  $30^\circ$ . Визначимо значення  $\beta_1$  при кожному повороті диска на кут  $\Delta\theta = 5^\circ$  (рис. 2.13).

$$\beta_1 = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{tg}\beta}{\sqrt{1 + \left[ \frac{(\omega \cdot r_{\max} - V_n \cdot \Delta\theta) \cdot \cos\Delta\theta}{V_n} \right]^2}}. \quad (2.22)$$

## 2.4 Висновки

Проведений комплекс досліджень дозволяє сформулювати наступне:

- оптимальною конструкцією з точки зору матеріало- та енергоємності є конструкція дискового подрібнювача стеблових кормів. Оснащеного криволінійними ножами;
- встановлено, що мінімальні витрати енергії при використанні криволінійного ножа будуть при кутах його нахилу  $36 \dots 57^\circ$ ;
- зменшення зусилля різання забезпечується явищем кінематичної трансформації кута загострення ножа;
- в залежності від величини коефіцієнта ковзання  $\varepsilon$ , криволінійний ніж містить ділянки леза, які працюють як у режимі нормального, похилого так і ковзного різання. Якщо  $\varepsilon > 1$  і кут ковзання більше значення кута тертя на всій ділянці дуги леза ножа ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ ), то має місце ковзне різання;

- закономірність зміни величини кута загострення  $\beta_1$ , залежно від кута ковзання  $\gamma$ , для лез із різним кутом  $\beta$  – різна;

- збільшення величини кута ковзання  $\gamma$  сприяє збільшенню коефіцієнта трансформації  $k$ , який характеризує долю зменшення кута загострення від його перетворення, що має прямопропорційну залежність. При різанні пучка трав'яної маси із кутом ковзання  $\gamma = 60^\circ$  кут загострення ножа зменшується майже вдвічі (якщо  $\beta = 30^\circ$  то  $\beta_1 \approx 16^\circ$ );

- зміна величини кута загострення леза  $\beta_1$  (для  $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) інтенсивно проходить при куті установки дискового ножа  $\Delta\theta$  від  $0^\circ$  до  $15^\circ$ .

### **3 Експериментальні дослідження процесу подрібнення стеблових кормів**

#### **3.1 Мета, завдання і програма досліджень**

Метою експериментальних досліджень є підтвердження теоретичних передумов процесу подрібнення стеблових кормів, визначення оптимальних режимних параметрів роботи подрібнювача та перевірка його працездатності. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні завдання:

- визначити значення зусилля різання в залежності від умов протікання процесу;
- визначити оптимальне співвідношення конструктивно-технологічних параметрів ріжучого апарату;
- визначити оптимальні режимні параметри подрібнювача.

Відповідно до поставлених завдань загальна програма досліджень містить такі пункти:

1. Розробка та створення експериментального стенду для дослідження процесу різання.
2. Розробка та створення експериментального зразка малогабаритного подрібнювача та установки для проведення досліджень.
3. Розробка окремих методик лабораторних та експериментальних досліджень.
4. Проведення досліджень та аналіз їх результатів.

#### **3.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень**

Дослідження процесу різання проводили за допомогою експериментальної установки, що включає: копер з вертикальними напрямними 3 (рис. 3.1), по яких під дією пружини 6 рухалась платформа із пристроєм для закріплення зразка 1, експериментальний ніж 4, установлений на тензометричну ланку. Сила стиснення пружини визначалася з умови одержання в момент різання зразка стебла необхідної швидкості. Досліджувані ножі встановлювали на тензометричну ланку, що дозволяло реєструвати зусилля різання стебла ножем. Для визначення швидкості вимірювали час, за який платформа проходить по напрямних.

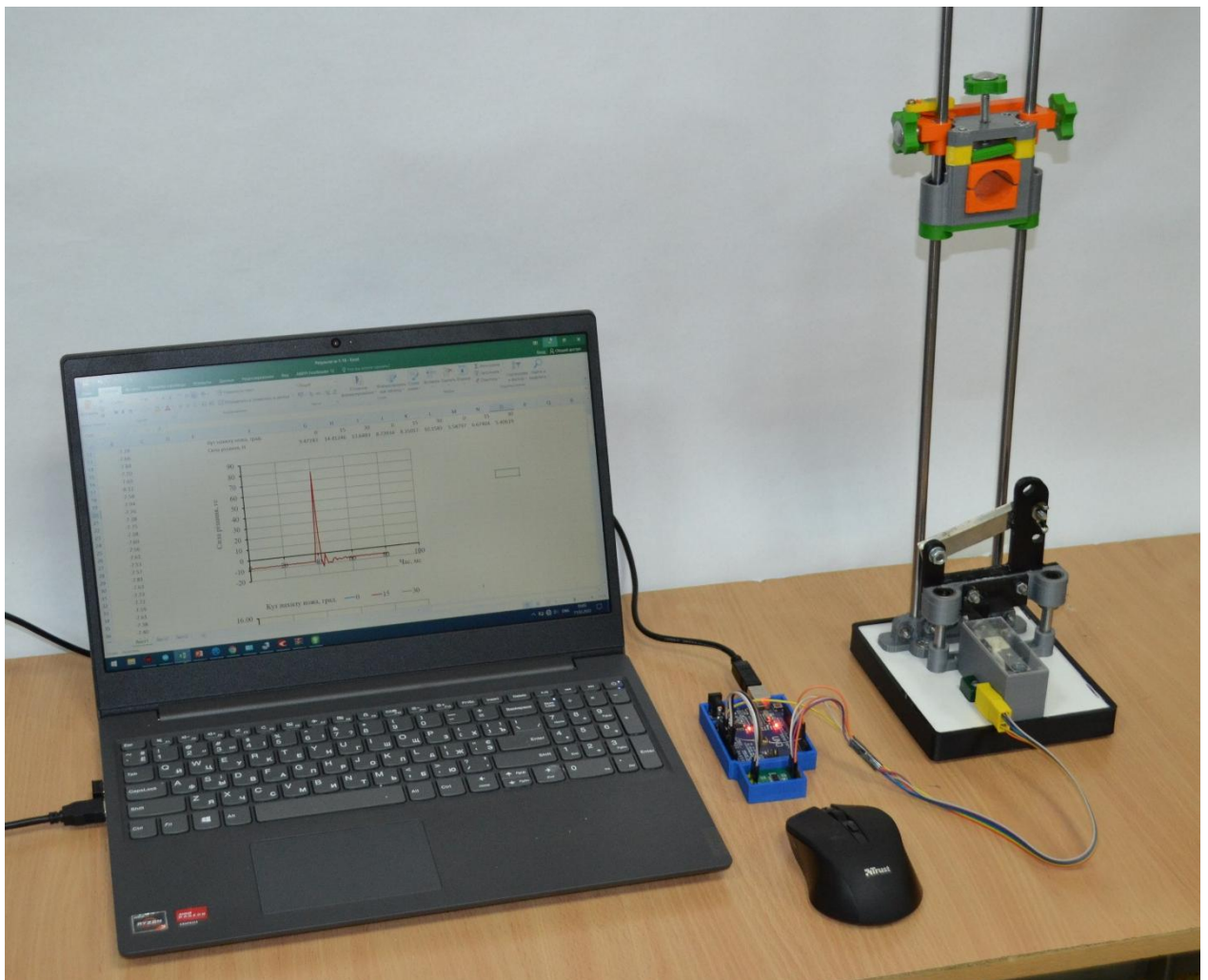
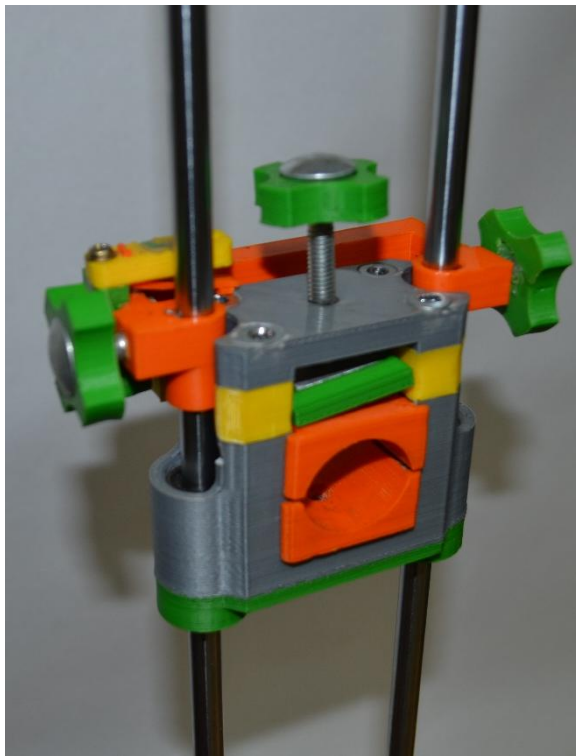
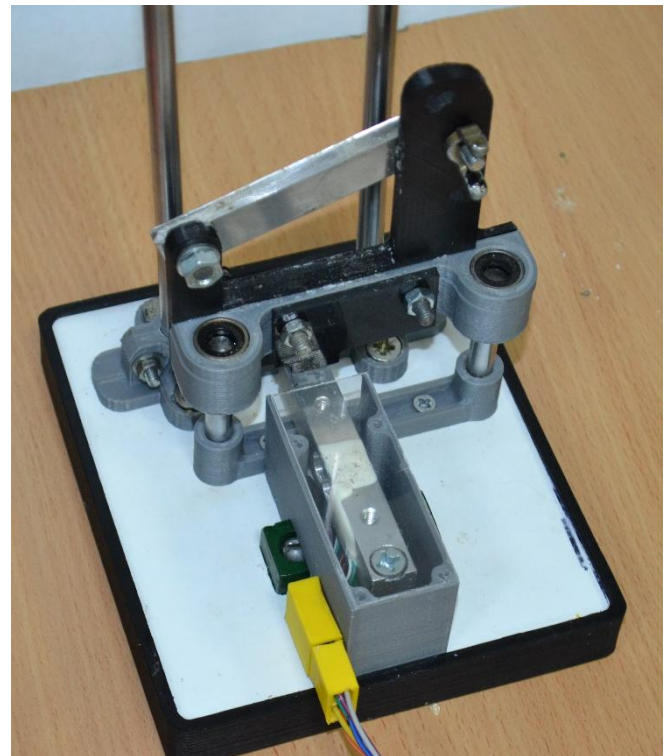


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд лабораторної установки

Робота на копрі здійснювалася в такий спосіб. На тензометричну ланку встановлювався ніж з необхідними параметрами і у положенні, відповідному до плану експерименту. Зразок стебла закладався в закріплюючий пристрій на платформі в положення, що забезпечує його відрізання на встановлену довжину. Після цього, платформа із зразком стебла піднімалася у верхню точку напрямних, та фіксується на стисненій пружині, яка забезпечує різання з необхідною швидкістю. Після цього пружина звільнюється і під її дією платформа опускалася вниз. Одночасно фіксувалися зусилля різання і час опускання платформи.



а



б

Рисунок 3.2 – Платформа (а) та тензоопера ножа (б)

Тарировка тензометричної балки проводилася у наступному порядку. Для визначення енергетичних показників процесу різання стебел (зусилля різання) досліджуваний ніж в спеціальному тримачеві встановлювався на вимі-

рювальний пристрій, що представляє собою тензометричну балку працюючу на вигин, установлену консольно. На тримач ножа у верхній частині встановлювався кутик з направляючою. На направляючу встановлювали вантаж змінної величини (рис. 3.3). Тензометрична балка являє собою пластину, на яку наклеєні тензометричні датчики опору, що утворюють напівмостову схему, вихідні кінці тензодатчиків з'єднані проводами із входом підсилювача.

Сила тиску на ніж визначалася по величині відхилення кривої сигналу з підсилювача на екрані ПЕОМ від нульової відмітки. Величина цього відхилення фіксувалася також і при розвантаженні тензобалки. Результати тарировки представлені у вигляді графіка на рис. 3.3.

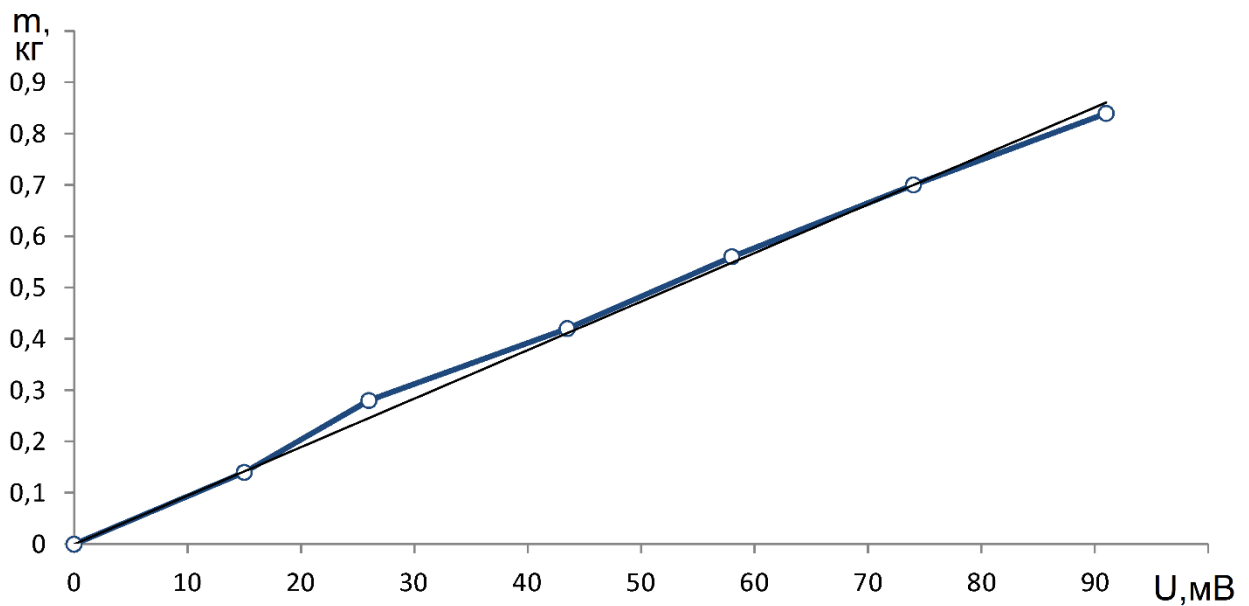


Рисунок 3.3 – Результати тарировки тензобалки

Для спрощення перерахунків отримані дані тарировки було перераховано з отриманням лінійної залежності:

$$m = 0,0095U - 0,5, \quad (3.1)$$

де  $U$  – напруга на виході з тензопідсилювача, мВ;

$m$  – відповідна вага, кг.

Після перерахування отриманих даних за залежністю (3.1), визначалася величина зусилля різання Н/м.

Питома сила різання визначалася по формулі:

$$P_{\text{різ}} = \frac{P}{S}, \quad (3.1)$$

де  $P$  - величина зусилля різання, Н;

$S$  - ширина зразка, м.

Швидкість різання визначали наступним чином. У верхній та нижній частині направляючих копра було встановлено електричні контакти, які замикалися платформою при відповідному її положенні. Після того, як пружина звільнюється початкова швидкість руху платформи складає  $V_0$ , що спричинена дією пружини.

Далі платформа рухається вниз із прискоренням вільного падіння  $g$ . При цьому верхній контакт розмикається і на модуль Arduino Uno A Tmega 328P-PU передається електричний сигнал, який запускає процес вимірювання. При входженні корму в контакт з ножом замикається нижній контакт і на модуль Arduino Uno A Tmega 328P-PU передається електричний сигнал, який припиняє процес вимірювання. Таким чином, в програмному забезпеченні «Arduino-1.8.9-windows» відображається таблиця з двома колонками – час руху платформи зі зразком та зусилля на тензOMETричному датчику. Фіксується початкове значення часу  $t_1$  і кінцеве значення часу  $t_2$ .



Їх різниця  $\Delta t = t_2 - t_1$  і є час руху платформи. Відстань, яку проходить платформа є  $H$  (рис. 4). Тоді рівняння руху платформи можна записати у вигляді

$$H = V_0 \Delta t + \frac{g(\Delta t)^2}{2} = V_0(t_2 - t_1) + \frac{g(t_2 - t_1)^2}{2}. \quad (3.2)$$

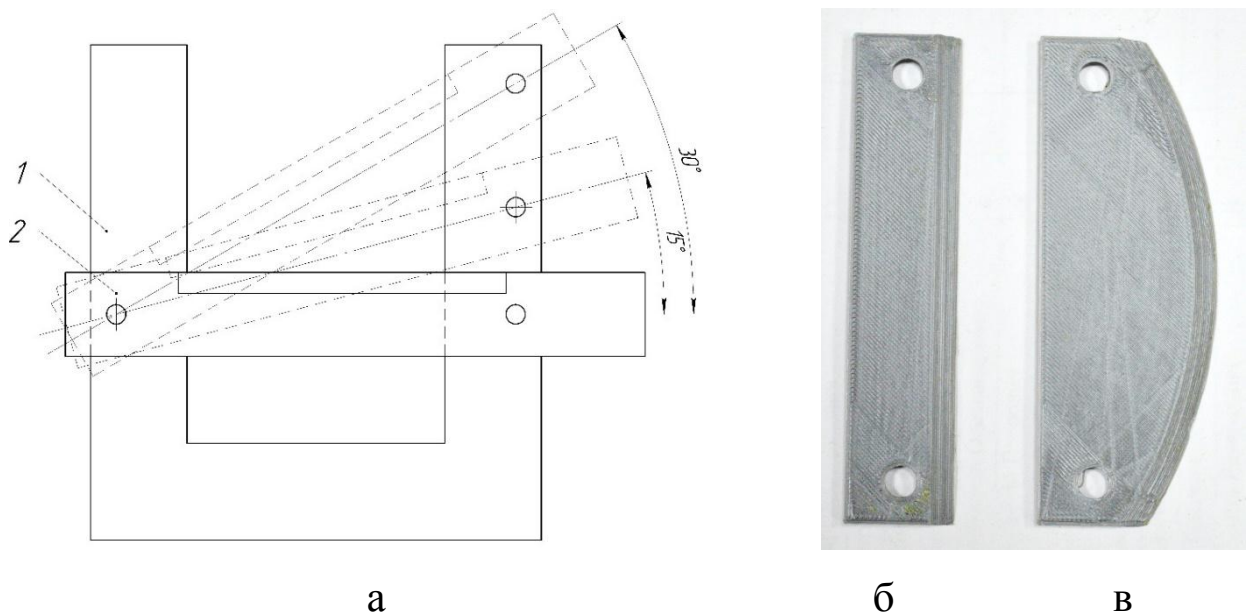


Рисунок 3.4 – Схема встановлення (а) експериментальних ножів  
- прямого (б) та криволінійного (в): 1 – тримач; 2 – ніж

А швидкість в момент входження соковитого корму в контакт з ножом розраховується за формулою

$$V = V_0 + g\Delta t = V_0 + g(t_2 - t_1). \quad (3.3)$$

Виразивши  $V_0$  з (5) і підставивши в (6) остаточно маємо вираз для розрахунку швидкості руху платформи  $V$

$$V = \frac{H}{(t_2 - t_1)} + \frac{g(t_2 - t_1)}{2}. \quad (3.4)$$

Кут нахилу експериментального ножа змінювали шляхом обертання його навколо шарніру (рис. 3.4) та встановлення у відповідний отвір протилежного боку тримача.

### 3.3 Програма та методика досліджень процесу різання

Дослідження з визначення залежностей впливу конструктивно-технологічних параметрів на силу різання прямим ножом проводились із застосуванням методу математичного планування багатofакторного експерименту, з отриманням рівнянь регресії другого порядку [44]:

$$y = a_0 + \sum_{k=1}^k a_k x_k + \sum_{k=1}^k a_{ij} x_i x_j + \sum_{k=1}^k a_{ii} x_i^2, \quad (3.5)$$

де  $a_0, a_i, a_{ij}, a_{ii}$  – коефіцієнти регресії;

$x_i, x_j$  – незалежні змінні фактори.

При цьому, кодування факторів здійснюють за формулою

$$X_i = \frac{A_i - A_{oi}}{\varepsilon}, \quad (3.6)$$

де  $X_i$  – кодоване значення (безрозмірна величина, рівні: верхній, нижній і в центрі позначаються відповідно +1; -1; 0);

$A_i$  – натуральне значення;

$A_{oi}$  – натуральне значення на нульовому рівні;

$\varepsilon$  – натуральне значення інтервалу варіації.

Факторами експерименту були обрані кут нахилу ножа ( $x_1$ ) і швидкість різання ( $x_2$ ). Досліджуваний критерій – зусилля різання ( $y$ ).

Дослідження проводились за дробним планом другого порядку для 3 факторів. Матриця плану, фактори експерименту та їх рівні представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів  
плану експерименту та рівні варіювання факторів

Рівні факторів, матриця досліджу	Фактори	
	$x_1$	$x_2$
1	2	3
Верхній рівень (+)	60	12
Основний рівень (0)	30	9
Нижній рівень (-)	0	6
Інтервал варіювання факторів	30	3
План досліджу		
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0

1	2	3
9	1	1

Рівні варіацій факторів були обрані з теоретичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів процесу різання (розділ 2).

Для криволінійного ножа факторами експерименту були обрані кут нахилу ножа ( $x_1$ ) і швидкість різання ( $x_2$ ).

Дослідження проводились за дробним планом другого порядку для 2 факторів. Матриця плану, фактори експерименту та їх рівні представлено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів

Рівні факторів, матриця дослідження	Фактори	
	$x_1$	$x_2$
1	2	3
Верхній рівень (+)	60	12
Основний рівень (0)	30	9
Нижній рівень (-)	0	6
Інтервал варіювання факторів	30	3
План дослідження		
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1

1	2	3
8	1	0
9	1	1

Рівні варіацій факторів були обрані з теоретичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів процесу різання (розділ 2).

Експериментальні дослідження зразка малогабаритного подрібнювача стеблових кормів в лабораторії кафедри «Механізації виробничих процесів у тваринництві» ДДАЕУ на експериментальному стенді (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Загальний вид експериментального подрібнювача

Для з'ясування впливу фактору  $x$  (швидкість різання) на критерій оптимізації  $y$  (питома енергоємність подрібнення) провели однофакторний експеримент. При цьому швидкість різання була рівна 8 - 22 м/с, з кроком 2 м/с. Зміну швидкості різання здійснювали шляхом зміни частоти обертання диска подрібнювача за допомогою частотного регулятора. Продуктивність подрібнювача  $Q$  визначали виходячи з часу, затрачуваного на подрібнення однієї наважки. Потужність приводу та затрачуваний час знімали за допомогою частотного перетворювача з наступним поточним записом за допомогою персонального комп'ютера.

Питома енергоємність подрібнення буде рівна:

$$e = \frac{N}{Q}, \quad (3.7)$$

де  $N$  – потужність приводу подрібнювача, кВт;

$Q$  - продуктивність подрібнювача, т/год.

Для проведення експерименту використовували два типи ножів – прямий і криволінійний.

### 3.4 Результати експериментальних досліджень

Дослідження з визначення залежностей впливу конструктивно-технологічних параметрів на силу різання прямим ножом проводились із застосуванням теорії планування багатofакторного експерименту.

Факторами експерименту були обрані кут нахилу ножа ( $x_1$ ) і швидкість різання ( $x_2$ ). Досліджуваний критерій – зусилля різання ( $y_1$ ).

За результатами досліджень було отримано математичну модель зусилля різання стебел кукурудзи від досліджуваних факторів. Отримана математична модель мала вигляд:

$$y_1 = 98,55 - 9,83x_1 - 3,92x_1^2 - 7,67x_2 + 0,836x_2^2 + 1,75x_1x_2 - 0,125x_1x_2^2 + 0,126x_1^2x_2 + 0,31x_1^2x_2^2. \quad (3.8)$$

Після відсіювання незначущих коефіцієнтів (критерій Стьюдента) рівняння регресії (3.8) прийме вигляд:

$$y_1 = 127 - 1,7x_1 - 0,021x_1^2 - 0,167x_2 + 0,0,175x_1x_2 \quad (3.9)$$

У розкодованому вигляді модель (3.9) має вигляд:

$$F_{\text{різ}} = 127 - 1,7v - 0,021v^2 - 0,167\gamma + 0,175v\gamma, \quad (3.10)$$

де  $F_{\text{різ}}$  – зусилля різання, Н;

$\gamma$  – кут нахилу ножа, град;

$v$  – швидкість різання, м/с.

Графічну інтерпретацію попарних взаємодій залежності (3.10) при фіксованих оптимальних значеннях представлено на рис. 3.6.

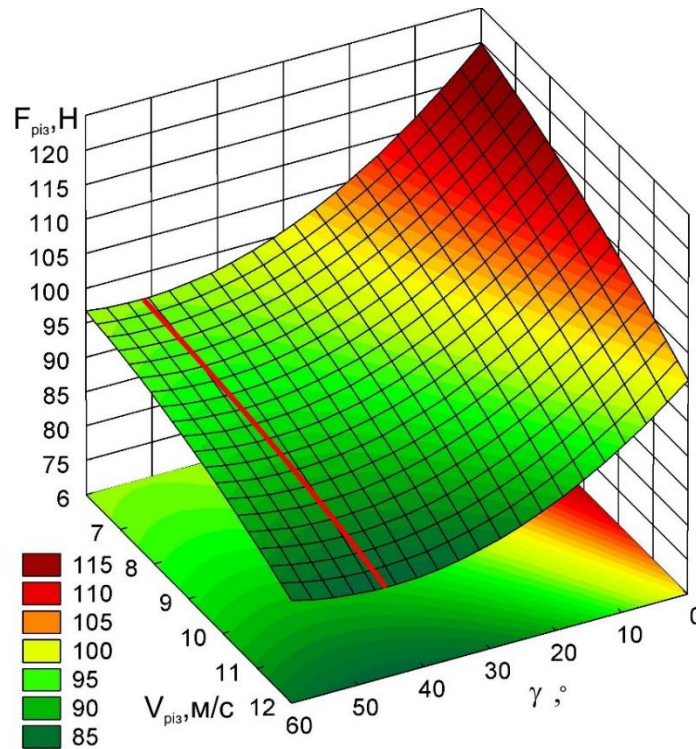


Рисунок 3.6 – Поверхня відгуку за регресією (3.10)

Як видно з рисунка, оптимальне значення кута нахилу ножа для досліджуваного діапазону швидкостей знаходиться в межах  $42...51^\circ$  - для меншого значення швидкостей різання - більше значення кута нахилу, і навпаки зі збільшенням швидкості різання значення кута нахилу ножа менше. Це пояснюється тим, що при збільшенні швидкості різання зменшується вплив значення трансформації кута заточування. При вищих значеннях швидкості різання крім статичних умов руйнування матеріалу, активно починають впливати динамічні складові (наприклад розрив, який відбувається завдяки частковому ковзанню стебла по ножу).

Для криволінійного ножа отримана математична модель мала вигляд:

$$y_2 = 98,55 - 9,83x_1 - 3,92x_1^2 - 7,67x_2 + 0,83x_2^2 + 1,75x_1x_2 - 0,125x_1x_2^2 + 0,125x_1^2x_2 + 0,31x_1^2x_2^2. \quad (3.11)$$



Після відсіювання незначущих коефіцієнтів (критерій Стюдента) рівняння регресії (3.11) розкерованому вигляді прийме вигляд:

$$F_{\text{різ}} = 127,2 - 1,7\gamma + 0,021\gamma^2 - 0,167v - 0,176v^2 + 0,175\gamma v - 0,0083\gamma v^2 - 0,0029\alpha^2 v + 0,002\gamma^2 v^2, \quad (3.12)$$

де  $F_{\text{різ}}$  – зусилля різання, Н;

$\gamma$  – кут нахилу ножа, град;

$v$  – швидкість різання, м/с.

Графічну інтерпретацію попарних взаємодій залежності (3.12) при фіксованих оптимальних значеннях представлено на рисунку 3.7.

Вплив кута нахилу ножа свідчить про те, що при максимальній швидкості різання мінімальне значення зусилля зміщується в бік менших значень кута нахилу. При цьому оптимальне значення кута нахилу ножа для досліджуваного діапазону швидкостей знаходиться в межах 38...47°.

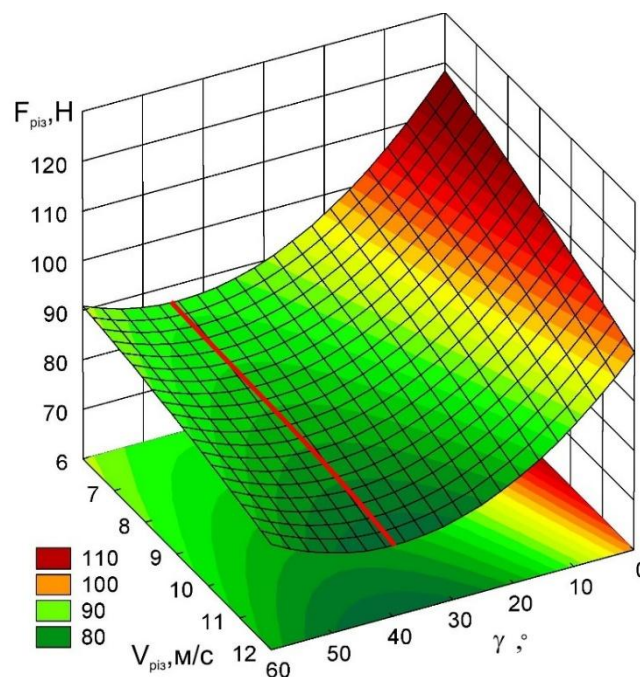


Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку за регресією (3.12)

В цілому за результатами експериментальних досліджень встановлено, що для обох конструкцій ножа, вплив кута його нахилу на зусилля різання нелінійний і має чітко виражене значення оптимуму. Що стосується швидкості, то, як і слід було очікувати, з її збільшенням зусилля різання зменшується, при цьому оптимум знаходиться за межами досліджуваного діапазону.

В результаті експериментальних досліджень малогабаритного подрібнювача стеблових кормів було отримано рівняння регресії (величина достовірності апроксимації  $R^2 = 0,916$ ), котре описує залежність питомої енергоємності процесу подрібнення стебел кукурудзи експериментальним малогабаритним подрібнювачем від швидкості різання з використанням **прямого** ножа:

$$e_{\text{п}} = 12,618 - 0,7187v + 0,0142v^2 \quad (3.13)$$

Графічна інтерпретація отриманої регресії приведена на рис. 3.8.

В результаті експериментальних досліджень малогабаритного подрібнювача стеблових кормів було отримано рівняння регресії (величина достовірності апроксимації  $R^2 = 0,978$ ), котре описує залежність питомої енергоємності процесу подрібнення стебел кукурудзи експериментальним малогабаритним подрібнювачем від швидкості різання з використанням **криволінійного** ножа:

$$e_{\text{к}} = 15,018 - 1,0522v + 0,0224v^2 \quad (3.14)$$

Графічна інтерпретація отриманої регресії приведена на рис. 3.8.

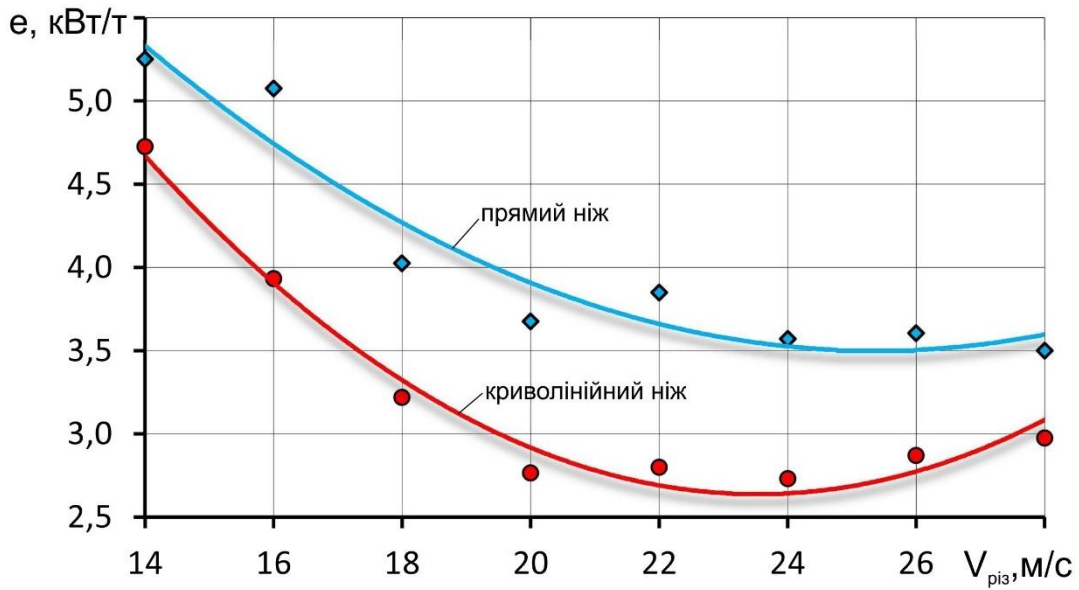


Рисунок 3.8 - Графічна інтерпретація отриманих регресій (3.13-3.14)

### 3.5 Висновки

В результаті лабораторних та експериментальних досліджень процесу подрібнення стеблових кормів встановлено, що:

- за використання прямого ножа сила різання буде залежати: майже лінійно від швидкості різання; з чітко вираженим оптимумом -  $42...51^\circ$  від кута нахилу ножа;

- за використання криволінійного ножа характер залежності сили різання аналогічний до прямого, проте мінімальне значення 76 Н спостерігається при нахилі ножа на  $38,2^\circ$ ;

- дослідження експериментального подрібнювача стеблових кормів показали, що для заданих умов найменша енергоємність  $e_n = 3,5$  кВт·год/т при роботі з прямим ножом буде при  $v=25,2$  м/с (або  $1350$  хв $^{-1}$ ), при роботі з криволінійним ножом:  $e_k = 2,6$  кВт·год/т при  $v=23,5$  м/с, тобто  $1250$  хв $^{-1}$ .

## **4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.1 Загальні визначення та поняття**

Згідно Закону України «Про охорону праці» [23], «охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності».

Законодавство про охорону праці складається з приведеного вище Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності» та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів.

У відповідності до визначення [17], «об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру».

Використання розроблюваного дипломній роботі подрібнювача може привести до виникнення пожежі, яку згідно [66] «відносять до надзвичайних ситуацій техногенного характеру. Пожежа - це неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі та створює загрозу життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу, призводить до матеріальних збитків» [25].

#### **4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів**

При експлуатації машини можуть мати місце шкідливі і небезпечні виробничі фактори, в тому числі:

- можливість впливу електричного струму;
- підвищена запиленість повітря;
- рухові частини машини;
- підвищений рівень шуму;
- фізичні перевантаження

#### **4.3 Заходи по забезпеченню захисту робітника, який працює з подрібнювачем від дії шкідливих та небезпечних факторів**

**Організаційні заходи** - «своєчасність проведення інструктажів з охоро-

ни праці. **Вступний** інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Цей вид інструктажу проводять для всіх нових працівників».

Далі, за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці, «проводять **первинний інструктаж** на робочому місці.

До самостійної роботи в якості оператора подрібнювача допускаються особи, які досягли 18-річного віку, які не мають медичних протипоказань, пройшли:

- відповідну професійну підготовку, в тому числі з питань охорони праці;
- які пройшли навчання і перевірку знань на 1 групу з електробезпеки;
- попередній при прийомі на роботу і періодичні медичні огляди і визнані придатними за станом здоров'я до роботи;
- вступний і первинний інструктаж на робочому місці;
- стажування і перевірку знань з питань охорони праці.

Оператори проходять повторний інструктаж з охорони праці в терміни не рідше ніж один раз на шість місяців і щорічну перевірку знань з питань охорони праці».

**Технічні заходи** – «оператор повинен бути забезпечений спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (далі - ЗІЗ), відповідно до Типових галузевих норм безплатної видачі засобів індивідуального захисту».

«Для захисту оператора подрібнювача від уражень електричним струмом під час аварійного замикання на землю чи корпус обладнання під час пошкодження ізоляції передбачено захисний вимикач, який спрацьовує через 0,2 сек після замикання та заземлення електродвигуна» [67].

«Для захисту оператора подрібнювача від підвищеного рівня забруднення повітря пилом передбачено примусову систему вентиляції. У

приміщенні, де встановлено розроблений подрібнювач виділяється за годину 20 г пилу від продуктів подрібнення сіна. Нам необхідно розрахувати продуктивність вентилятора, необхідну для видалення лишків пилу» [17].

Відповідно до [17] «гранична концентрація пилу, що містить до 10 % вільної  $\text{SiO}_2$ , дорівнює  $4 \text{ мг/м}^3$ ».

У свіжому повітрі, що надходить до приміщення кормоприготувального відділення, «зовсім немає вказаного пилу ( $P_0 = 0$ ).

Тоді

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

де  $P$  – кількість пилу, що виділяється в приміщенні,  $\text{мг/год}$ ;

$P_0$  – концентрація пилу в засмоктуваному чистому повітрі,  $\text{мг/м}^3$ ;

$P_1$  – допустима концентрація пилу в приміщенні,  $\text{мг/м}^3$ .

Відповідно до отриманої продуктивності приймаємо до використання осьовий вентилятор ВО 56-00, продуктивністю  $5600 \text{ м}^3/\text{год}$ , з монтажем в стіну приміщення» [17].

#### **4.4 Правила безпеки при виконанні робіт з подрібнення стеблових кормів**

Загальні вимоги безпеки. Персонал, експлуатуючий і обслуговуючий машину, зобов'язаний: дотримуватись вимог інструкції з експлуатації та цих інструкцій, а також правил санітарії, безпеки, електробезпеки під час роботи з електричною установкою; виконувати тільки ту роботу, яка поручена йому безпосереднім керівником, не допускається виконання розпоряджень і завдань, що протирічать вимогам правил безпеки; мати і використовувати за призначенням спеціальний одяг і захисні засоби залежно від виду роботи; утримувати своє робоче місце в чистоті, своєчасно видаляти з підлоги розсіпані продукти і інші предмети; піднімати і переміщувати вантажі вручну слід з

дотриманням встановлених норм - для жінок разово масою не більш 10 кг, постійно протягом робочої зміни - масою не більш 7 кг, для чоловіків - постійно протягом робочої зміни масою не більш 30 кг (вантажнику - не більш 50 кг. У випадку невиконання положень цієї інструкції працівники можуть бути притягнені до дисциплінарної, адміністративної, матеріальної відповідальності.

Вимоги безпеки перед початком роботи. Надіти справний чистий спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту. Волосся підібрати під головний убір. Одяг повинен бути застібнутий на всі гудзики і не мати звисаючих кінців. Перевірити оснащеність робочого місця необхідним для роботи обладнанням, інвентарем, пристосуваннями та інструментом. Підготувати робоче місце для безпечної роботи: - забезпечити наявність вільних проходів; - перевірити стійкість підставок для обладнання та сировини; - зручно та стійко розмістити запаси сировини. Перевірити зовнішнім оглядом: - достатність освітлення робочої зони; - відсутність звисаючих і оголених кінців електропроводки; - перевірити наявність і надійність з'єднання заземлюючого проводу (відсутність обривів, міцність контакту між корпусом машини і заземлюючим проводом). Не приступати до роботи при відсутності або ненадійності заземлення; - наявність огорожі механізмів, що рухаються, і надійність їх кріплення; - відсутність сторонніх предметів всередині і навколо застосованого обладнання.

Вимоги безпеки під час роботи. Застосування необхідні для безпечної роботи справні пристосування, інструмент, спеціальний одяг, спеціальне взуття і інші засоби індивідуального захисту. Включити машину на холостому ході, переконатися в відсутності заїдань, сторонніх шумів і правильності обертання ножа. Завантаження машини проводити рівномірно, через завантажувальний пристрій тільки при включеному електродвигуні. Рівномірно подавати продукти для подрібнення з використанням спеціальних штовхачів. При завантаженні продукту необхідно виключити потрапляння в робочу камеру сторонніх предметів. Забороняється: залишати працюючу машину без нагляду, замінити ножі при робочому приводі, користуватися пальцями рук і постороннім пред-



метом для досилання продуктів до робочих ножів, вимикати руками або сторонніми предметами подрібнені продукти з горловини корпусу при включеному приводу, допускати до роботи сторонніх осіб, залишати включеною машину при припиненні подачі електроенергії або перерви у роботі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. У випадку виникнення аварійної або надзвичайної ситуації, небезпеки для свого здоров'я - відключити машину від мережі. При наявності напруги на корпусі машини, кожусі пускорегулюючої апаратури, виникненні сторонніх шумів, запаху ізоляції, що горить, аварії, мимовільної зупинки або неправильній дії механізмів та елементів обладнання необхідно його зупинити (вимкнути) за допомогою кнопки «стоп» (вимикача) и відключити від електричної мережі. Повідомити про це керівника і до усунення несправності не включати. У випадку хворобливого стану припинити роботу, привести робоче місце у безпечний стан, повідомити про це керівника. При нещасному випадку на виробництві роботи слід перервати, надати першу медичну допомогу. Обставини, при яких відбувся нещасний випадок, зберігати до приїзду комісії, якщо це не загрожує здоров'ю людей або не викличе аварію.

Вимоги безпеки з закінчення роботи. Виключити машину. Очистити машину від залишків продуктів і зробити гігієнічну обробку. Зйомні робочі органи (ножі і ін.) очищувати обережно, промити, просушити і зберігати в місці, недоступному випадковим людям. Пластмасові деталі сушити при температурі не вище 50° С. Для очищення машини слід користуватися м'якими щітками. Використання металевих щіток не допускається! Зняти в гардеробний спеціальний одяг і взуття. Санітарний одяг зберігати відкритим способом, а спеціальний одяг - у шафі закритого типу. Спільне зберігання санітарного, спеціального і домашнього одягу не допускається. Вимити руки та обличчя теплою водою з милом або прийняти душ. Після роботи з миючими розчинами спочатку вимити руки під струменем теплої води.

#### **4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях**

Як було сказано вище, «найбільш імовірною надзвичайною ситуацією на фермі є пожежа, тому приведемо обов'язки і дії працівників у разі пожежі на фермі великої рогатої худоби». «Кожен працівник ферми при виявленні пожежі або ознак горіння (задимлення, запах гару, підвищення температури і т. п.) повинен» [25]:

- «негайно припинити роботу і викликати пожежну охорону по телефону 101, повідомивши при цьому адресу ферми, місце виникнення, прізвище, ім'я, по батькові, телефон»;

- «прийняти можливі заходи щодо евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей»;

- «відключити від електромережі закріплене електрообладнання»;

- «приступити до гасіння пожежі наявними первинними засобами пожежогасіння»;

- «повідомити безпосереднього керівника і оповістити оточуючих співробітників»;

- «при загальному сигналі небезпеки покинути будівлю».

«Керівник структурного підрозділу, якому стало відомо про пожежу зобов'язаний»:

- «викликати по телефону пожежну охорону»;

- «негайно сповістити своїх підлеглих та інших працівників»;

- «повідомити про пожежу особи, відповідальної за пожежну безпеку на об'єкті»;

- «вжити заходів з надання допомоги в гасінні пожежі, евакуації людей, тварин і матеріальних цінностей».

Особа, відповідальна за пожежну безпеку на фермі, зобов'язана:

- «продублювати повідомлення про виникнення пожежі в пожежну охорону і довести до відома власника майна (генеральний директор, засновник)»;

- «у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування, використовуючи для цього наявні сили і засоби»;

- «при необхідності відключити електроенергію, виконати інші заходи, що сприяють запобіганню розвитку пожежі і задимлення приміщень будівлі»;
- «припинити всі роботи в будівлі, крім робіт, пов'язаних із заходами щодо ліквідації пожежі»;
- «видалити за межі небезпечної зони всіх сторонніх працівників, які не беруть участі в локалізації пожежі»;
- «здійснити загальне керівництво з гасіння пожежі до прибуття підрозділу пожежної охорони»;
- «забезпечити дотримання вимог безпеки працівниками, які беруть участь в гасінні пожежі»;
- «одночасно з гасінням пожежі організувати евакуацію і захист тварин і матеріальних цінностей»;
- «організувати зустріч підрозділів пожежної охорони і надати допомогу у виборі найкоротшого шляху для під'їзду до осередку пожежі».

«При прибутті пожежних підрозділів особа, відповідальна за пожежну безпеку на фермі, зобов'язана проінформувати керівника гасіння пожежі про конструктивні особливості будівлі, прилеглих будівель і споруд, кількості і пожежонебезпечних властивостях речовин, які зберігаються і застосовуються, матеріалів та інших відомостях, необхідних для успішної ліквідації пожежі. Він зобов'язаний також організувати залучення сил і засобів об'єкта до здійснення необхідних заходів, пов'язаних з ліквідацією пожежі та попередженням її розвитку».

#### **4.6 Висновки**

З застосуванням актуальних нормативних документів та згідно правил охорони праці нами виконано обстеження розробленого подрібнювача стеблових кормів, встановлена дія шкідливих та небезпечних факторів на оператора. Для їх уникнення заплановано заходи та приведено вимоги до безпечного

проведення робіт. З'ясовано, що найбільш імовірною НС на об'єкті є пожежа, тому наведено черговість дій оператора при її виникненні.

## 5 Економічна ефективність застосування проектowanego подрібнювача стеблових кормів

Для оцінки економічної ефективності подрібнювача стеблових кормів, оснащеного розробленим подрібнюючим апаратом, визначимо та порівняємо витрати на виконання операції існуючим ПРР-1М та запропонованим варіанті.

Так як переваги розробленого подрібнювача стеблових кормів є: вища продуктивність та менша потужність – тобто мають технічний характер – порівняння будемо проводити за операційними витратами, нехтуючи якісними характеристиками отриманих кормів, так як вони приблизно однакові. Операційні (експлуатаційні) витрати визначимо за наступною методикою.

Витрати на виплату заробітної плати визначимо за формулою

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

де  $n$  – чисельність операторів, люд.;

$t$  – тривалість роботи подрібнювача стеблових кормів на добу, год.;

$f$  – тарифна ставка оператора за годину, грн/год.;

$\delta$  – коефіцієнт нарахування на виплату заробітної плати;

$D$  – всього робочих днів на рік;

Тривалість роботи подрібнювача стеблових кормів на добу визначимо виходячи з добової потреби в стеблових кормах для малої ферми ВРХ при роботі в одну зміну.

$$t = \frac{Q_n}{Q_{зм}}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де  $Q_{\text{п}}$  - добова потреба в стеблових кормах для малої ферми ВРХ, т;

$Q_{\text{зм}}$  – подрібнювача стеблових кормів, т/год.

Амортизаційні відрахування розраховуємо за формулою:

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

де  $B$  – балансова вартість подрібнювача стеблових кормів, грн.

$\alpha$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію подрібнювачів стеблових кормів, %.

Відрахування на ремонт і ТО подрібнювача стеблових кормів розраховуємо за формулою:

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

де  $\beta$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт подрібнювачів стеблових кормів, %.

Витрати на енергоресурси, в нашому випадку електроенергія, розраховуємо за формулою:

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

де  $N$  – потужність подрібнювача стеблових кормів, кВт.;

$c_e$  – ціна електроенергії, грн/кВт·год.

Загальні операційні витрати складуть

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

Економія операційних витрат

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

де  $EB_1, EB_2$  – операційні витрати за базовим та проектним варіантами, грн.

Термін окупності нового подрібнювача стеблових кормів

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

де  $B_2$  – балансова вартість проектного подрібнювача стеблових кормів, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	ППР-1М	Новий подрібнювач
1	2	3	4
1.	Кількість операторів, люд.	1	1
2.	Годинна тарифна ставка, грн/год.	54,2	54,2
3.	Кількість робочих днів на рік	365	365

1	2	3	4
4.	Поголівя корів на малій фермі, гол.	20	20
5.	Добова потреба в стебловому кормі, кг/гол.	22	22
6.	Добова потреба в стебловому кормі по фермі, кг	440	440
7.	Продуктивність подрібнювача, кг/год	300	330
8.	Тривалість роботи подрібнювача на добу, год.	1,47	1,33
9.	Балансова вартість подрібнювача, грн.	8850	8900
10.	Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	10
11.	Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	8
12.	Вартість електроенергії, грн/кВт·год	2,32	2,32
13.	Потужність на привід, кВт	2,5	2
14.	Витрати на заробітну плату, грн.	35398,38	32180,35
15.	Амортизаційні відрахування, грн.	885,00	890,00
16.	Відрахування на ремонт і ТО, грн.	708,00	712,00
17.	Витрати на електроенергію, грн.	3104,93	2258,13
18.	Експлуатаційні витрати, грн.	40096,31	36040,48
19.	Економія експлуатаційних витрат, грн.	-	4055,83
20.	Строк окупності нового подрібнювача, років	-	2,2

### Висновки

Реалізація пропонованого подрібнювача стеблових кормів пресованому вигляді в порівнянні з існуючим ПРР-1М дозволяє знизити питомі енерговитрати на 41,5 % та отримати річний економічний ефект у сумі 4055,83 грн. Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає 2,2 роки.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами проведеного аналізу можна сказати, що існує проблема: є спектр машин, призначених для подрібнення стеблових кормів, але аналіз показників питомої енергоємності цих технічних засобів показав, що вони досить високі. В умовах малих форм господарювання необхідний агрегат, який виконує функції приготування кормів у поєднанні з фінансовими можливостями споживача, але для малих форм господарювання таких машин розроблено мало. Таким чином, необхідно технічний засіб з низькою енергоємністю, щоб підвищити ефективність роботи у фермерських господарствах, приватних господарствах та інших малих фермах.

2. Проведений комплекс теоретичних досліджень дозволяє сформулювати наступне: встановлено, що мінімальні витрати енергії при використанні криволінійного ножа будуть при кутах його нахилу  $36...57^\circ$ ; зменшення зусилля різання забезпечується явищем кінематичної трансформації кута загострення ножа; в залежності від величини коефіцієнта ковзання  $\epsilon$ , криволінійний ніж містить ділянки леза, які працюють як у режимі нормального, похилого так і ковзного різання. Якщо  $\epsilon > 1$  і кут ковзання більше значення кута тертя на всій ділянці дуги леза ножа ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ ), то має місце ковзне різання; закономірність зміни величини кута загострення  $\beta_1$ , залежно від кута ковзання  $\gamma$ , для лез із різним кутом  $\beta$  – різна; збільшення величини кута ковзання  $\gamma$  сприяє збільшенню коефіцієнта трансформації  $k$ , який характеризує долю зменшення кута загострення від його перетворення, що має прямопропорційну залежність. При різанні пучка трав'яної маси із кутом ковзання  $\gamma = 60^\circ$  кут загострення ножа зменшується майже вдвічі (якщо  $\beta = 30^\circ$  то  $\beta_1 \approx 16^\circ$ ); зміна величини кута загострення леза  $\beta_1$  (для  $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) інтенсивно проходить при куті установки дискового ножа  $\Delta\theta$  від  $0^\circ$  до  $15^\circ$ .

3. В результаті лабораторних та експериментальних досліджень процесу подрібнення стеблових кормів встановлено, що: за використання прямого ножа сила різання буде залежати: майже лінійно від швидкості різання; з чітко

вираженим оптимумом -  $42...51^\circ$  від кута нахилу ножа; за використання криволінійного ножа характер залежності сили різання аналогічний до прямого, проте мінімальне значення  $76\text{ Н}$  спостерігається при нахилі ножа на  $38,2^\circ$ ; дослідження експериментального подрібнювача стеблових кормів показали, що для заданих умов найменша енергоємність  $e_{\text{п}} = 3,5\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$  при роботі з прямим ножем буде при  $v=25,2\text{ м}/\text{с}$  (або  $1350\text{ хв}^{-1}$ ), при роботі з криволінійним ножем:  $e_{\text{к}} = 2,6\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{т}$  при  $v=23,5\text{ м}/\text{с}$ , тобто  $1250\text{ хв}^{-1}$ .

4. З застосуванням актуальних нормативних документів та згідно правил охорони праці нами виконано обстеження розробленого подрібнювача стеблових кормів, встановлена дія шкідливих та небезпечних факторів на оператора. Для їх уникнення заплановано заходи та приведено вимоги до безпечного проведення робіт. З'ясовано, що найбільш імовірною НС на об'єкті є пожежа, тому наведено черговість дій оператора при її виникненні.

5. Реалізація пропонованого подрібнювача стеблових кормів пресованому вигляді в порівнянні з існуючим ПРР-1М дозволяє знизити питомі енерговитрати на  $41,5\%$  та отримати річний економічний ефект у сумі  $4055,83\text{ грн}$ . Термін окупності додаткових капітальних вкладень складає  $2,2$  роки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Егоров Б.В., Мартынов С.А., Хоренжий Н.В. Технология производства кормовых смесей на основе соломы злаковых культур // Наукові праці ОДАХТ.- Вип. 21.- Одеса, 2001.- С. 194-198.
2. Голиков В.А., Федосенко Г.Г. и др. Кормоприготовительные цехи. – Алма-Ата: «Кайнар», 1975. – 356 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов.–М.: Агропромиздат, 1987.– 303 с., ил.
4. Поєдинок В., Яроцький В., Шумський М. Як заготовити якісне сіно//Техніка АПК. – 1995. – №2. – С. 12-13.
5. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: «Машиностроение», 1975. – 311 с.
6. Бурмистрова М.Ф. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 145 с.
7. Крамаренко Л.П. Сопrotивление растений перерезанию // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. – т. 4. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1940. – С. 180-195.
8. Василенко А.А. Основания для проектирования свеклоуборочных машин // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. – т. 4. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1940. – С. 86-91.
9. Брагинець М.В. Дослідження фізико-механічних властивостей кормів // Вісник сільськогосподарської науки. – 1984. – № 1. – С. 31-34.
10. Василенко А.А. Основания для проектирования свеклоуборочных машин // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. - т. 4.- М.-Л.: Сельхозгиз, 1940.- С. 86-91.
11. Halyk R., Hurlbut L. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1968. – № 11.– p. 256-257.
12. Prince R., Bartok T., Bradway D. Shear stress and modulus of elasticity of selected forages // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1969. – № 12. – p. 426-429.

13. Ahlgrimm H. Der einfluss der Feuchte auf das Biegeverhalten von halmgut bei zug-, scher- und beigebeanspruchung // LandForsch-Volkenrode. – 1970. – № 8. – s. 8-31.
14. McRandal D., McNulty P. Mechanical and physical properties of grasses // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1980. – № 4. – p. 816-821.
15. Кулаковский И.В., Кирпичников Ф.С., Резник Е.И. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 286 с.
16. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. – М.: Колос, 1978. – 560 с.
17. Рахматулин Х.А., Демьянов Ю.А. Прочность при интенсивных кратковременных нагрузках. – М., 1961. – 196 с.
18. Боярский Л.Г. Производство и использование кормов. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 222 с.
19. Ясенецкий В.А., Гончаренко П.В. Машины для измельчения кормов: Под редакцией акад. ВАСХНИЛ Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1990. – 166 с.
20. Дедаев Г.А., Отрошко С.А. Об оптимальном измельчении силоса из кукурузы восковой спелости // Техника в сельском хозяйстве. – 1995. – №2. – С. 17-19.
21. Арнаутов В.И. Исследование и совершенствование рабочих органов для мелкого измельчения сочных кормов: Автореф. дисс...канд. техн. наук.– Харьков, 1968. – 30 с.
22. Ялпачик Ф.Е., Ялпачик Г.С., Крыжачковский Н.Л., Кюрчев В.Н. Кормодробилки: конструкция, расчет. Запорожье: Издательство «Коммунар», 1992. – 292 с.
23. Измельчитель кормов «Волгарь-5» (модернизация): Отчет о НИР (пояснительная записка по теме № 1.302.105.1.82 (5891) / ВНИИКОМЖК. – № ГР 01.83.0060986; Инв. № 0284 0053550. М., 1983. – 32 с.
24. Нова сільськогосподарська техніка / В.А. Ясенецький, В.С. Куліш, Н.П. Мечта та ін., за ред. В.А. Ясенецького – К.: Урожай, 1991. – 320 с.
25. Мянд А.Э. Кормоприготовительные машины и агрегаты. М.: Машиностроение, 1970. – 256 с.

26. Гушчян А.Г. Исследование и разработка механизированных линий универсального кормоцепа и изыскание путей повышения качества приготовления кормов: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Ереван, 1981. – 21 с.
27. Бобер О.А. Подготовка к скармливанию грубых кормов измельчителем с дисковыми противорезами: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Горьки, 1987. – 16 с.
28. Китун А., Передня В. Измельчитель зеленой массы // Свиноводство. – 1991. – №5. С. 21-22.
29. А.с. 1722298 СССР. Измельчитель. / С.А. Отрошко и др. – Оpubл. в БИ №12, 1992.
30. А.с. 566629 СССР. Дробилка для кормов/А.Н. Сердечный и др. – Оpubл. в БИ №28, 1977.
31. Краплин М.А., Петина М.П. Теоретическое обоснование закономерности распределения длин продукта после измельчения// Проектирование рабочих органов с.-х. машин. – Ростов-на-Дону, 1967. – С.147-151.
32. Грязной Ф.Д. Обоснование технологического решения универсального измельчителя кормов // Техника в сельском хозяйстве. – 2003. – №2. – С. 36-39.
33. Патент 8459 України МКИ А 01 F 29/00 Подрібнювач / Братішко В.В.; Заявл. 22.11.2004; Оpubл. Бюл. № 8, 2005 р.
34. Патент 18732 України МКИ А 01 F 29/00 Подрібнювач кормів / Братішко В.В.; Заявл. 30.05.2006; Оpubл. Бюл. № 11, 2006 р.
35. Братішко В.В. Шляхи зменшення енергоємності різання зелених рослин // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 28. – Мелітополь: ТДАТА. – 2005. – С. 191-197.
36. Волошин Ю.И., Загорский С.М., Мирзоянц Ю.А., Скоркин В.К. Исследование движения частиц корма в измельчителе барабанного типа // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 5. – С. 3-5.

37. Василенко П.М. теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. / Под ред. М.И. Медведева. – К.: Изд-во УАСХН, 1960. – 283 с.
38. Передня В.И. Механизация приготовления кормосмесей для крупного рогатого скота. – Минск: Ураджай, 1990. – 152 с.
39. Цейтлер А.К. Совершенствование технологического процесса и обоснование параметров измельчителя-смесителя стебельных кормов. Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Саратов, 1986 – 24 с.
40. Механизация приготовления кормов. Справочник / Под ред. В.И. Сыроватко. – М.: Агропромиздат, 1985. – 367 с.
41. Хмельовський В.С. Інтенсифікація технологічного процесу подрібнення-змішування кормів: Автореф. дисс... канд. техн. наук. – Київ, 2000. – 20 с.
42. Притченко С.А. Исследование процесса резания зеленых кормов для птицы. Автореф. дисс...канд. техн. наук, Киев, 1965. – 22 с.
43. Какабаев О. Повышение эффективности работы измельчителя смесителя кормов: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Саратов, 1992. – 24 с.
44. Коруняк П.С. обґрунтування схем і параметрів устаткування ударного подрібнення зерна. Автореф. дис...канд. техн. наук. – Львів, 2000. – 20 с.
45. Безпалов Р.І. Підвищення ефективності процесу подрібнення кормів: Дисертація ... канд. техн. наук. – Одеса, 2005. – 160 с.
46. Жабко В.А. Исследование и обоснование основных параметров режущих аппаратов для измельчения волокнистых кормовых материалов: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Минск, 1980. – 19 с.
47. Горюнов Н.А. Разведение уток. Изд. 5-е, перераб. и доп., М.: Колос, 1971.– 176 с. с илл.
48. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 276 с.
49. Зажигаев Л.С., Китьян А.А., Романников Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.

50. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. – 597 с.
51. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов.- Л.: Колос, 1972.- 200 с.
52. Охорона праці / За ред. Грянніка Г.М. // К.: Урожай, 1994. – 203 с.
53. Методика комплексной оценки техники и технологий для животноводства. птицеводства и кормообеспечения. – КНД У 46.16.15-95. Введена впервые. Дата введения 28 марта 1995 г. – Запорожье: ПЦ “Х-Пресс”, 1997. – 52 с.
54. Информационные материалы в комплексной оценке техники и технологий для животноводства, птицеводства и кормообеспечения: Справочник / В. Ф. Сичкарь, А. С. Кушнарев, Т. Н. Коротченко, Л. М. Олейник; Под ред. В. Ф. Сичкаря / – Запорожье, ИМЖ, 1997. – 396 с.
55. ДСТУ 4397 : 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.
56. Жабко В.А. Исследование и обоснование основных параметров режущих аппаратов для измельчения волокнистых кормовых материалов: Автореф. дисс...канд. техн. наук. – Минск, 1980. – 19 с.
57. Мельников С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм.- Л.: Колос, 1978.- 560 с.
58. Gieroba J., Niedziolka I. Analiza jakosci rozdrabniania lodyg kukurydzy zbieranej na ziarno //Problemy inzynierii rolnniczej.- № 3 (5).- P. 9-22.
59. Надежин А.В. Обоснование параметров технологического процесса измельчения грубых и сочных кормов комбинированным рабочим органом: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.20.01 / ВНИПТИМЭСХ.- зерноград, 1992.- 19 с.
60. Дю Ин Ю., Терехов П.З. Определение зависимости длины резки от параметров измельчающего аппарата // Тракторы и сельхозмашины.- 1979.- № 6.- С. 22.
61. Алексеенко Н.П. К определению степени измельчения корма дисковым отделителем // Производство концентратов зеленых кормов: Сб. статей РИСХМ.- Ростов-на-Дону, 1978.- С. 109-113.

62. Беспалов Р.И. Предпосылки совершенствования машин для измельчения стебельчатых кормов // Наукові праці ОДАХТ.- Вип. 21.- Одеса, 2001.- С. 192-194.
63. Бремер, Г.И. Основы теории резания лезвием и расчет режущих машин животноводческих ферм / Г.И. Бремер – М.: ВСХИЗО, 1963. – 75 с.
64. Закон України "Про охорону праці"
65. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація
66. Об'єкт підвищеної небезпеки // Юридична енциклопедія : [у 6 т.] / ред. кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.) [та ін.] - К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 2002. - Т. 4 : Н - П. - 720 с. - ISBN 966-7492-04-4.
67. Навчальний посібник з охорони праці / Дніпропетр. держ. агр. ун-т. - Дніпропетровськ, 2009 р. - 132 с.
68. ДНАОП 0.00-1.32-01. Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок
69. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджені постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 р. № 42.
70. Захарченко М.В., Орлов М.В., Голубєв А.К. та ін. Безпека життєдіяльності у повсякденних умовах виробництва, побуту та у надзвичайних ситуаціях: Навчальний посібник. – К.: ІЗМИ, 1996. – 196 с.
71. Хижняк М.І., Нагорна А.М. Здоров'я людини та екологія. – К.: Здоров'я, 1995. – 232 с.
72. Яким Р.С. Безпека життєдіяльності людини. Навчальний посібник. Львів.: Бескід Біт, 2005. – 304 с



## **ДОДАТКИ**

**ІРОВОСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра механізації виробничих процесів у тваринництві

## **Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача стеблових кормів**

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконала:** студентка 2 курсу, групи МГМз-  
Жданова Ірина Олегівна

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

---

## МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

---

Метою роботи є підвищення ефективності подрібнення стеблом обґрунтування параметрів процесу роботи і конювача стеблових кормів.

Завдання досліджень:

- провести огляд існуючих конструкцій подрібнювачів стеблових кормів і класифікацію та проаналізувати теоретичні дослідження роботи;
  - провести теоретичний аналіз роботи ріжучого апарату подрібнювача стеблових кормів та визначити фактори, що впливають на енергоємність роботи;
  - провести лабораторні та експериментальні дослідження роботи подрібнювача стеблових кормів ножами різного типу;
  - дати економічну оцінку впровадження запропонованого подрібнювача стеблових кормів.
- Мета дослідження - процес подрібнення стеблових кормів ножем різного типу.

Значення дослідження – закономірності взаємозв'язку технології подрібнення стеблових кормів ножем різного типу.

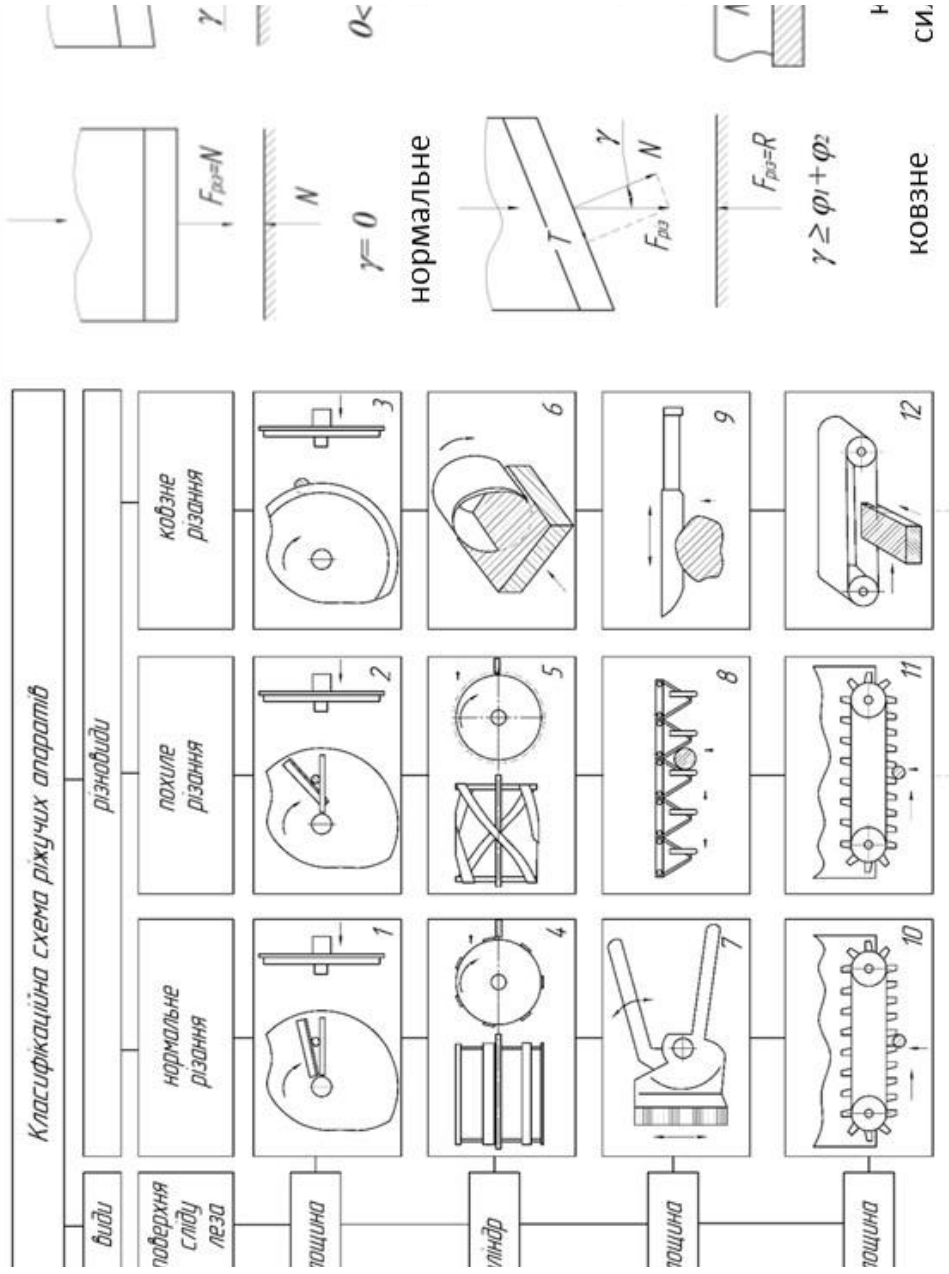
## АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика деяких подрібнювачів стеблових культур

Модель	Продуктивність, т/год	Потужність приводу, кВт	Питома енергоємність, кВт·год/т	Подрібнювач
1	5,0	60	12	МО
2	3,2	50	16	Р
3	1,8	48	27	МО
4	2,8	50	18	ножі,
5	4,0	55	15	МО
6	2,1	42	20	МО
7	0,4	4,2	11	Р
8	0,25	3,0	13	Р

Результатами проведеного аналізу можна сказати, що існує проблема: , призначених для подрібнення стеблових кормів, але аналіз показує, що енергоємності цих технічних засобів показав, що вони досить високі

### АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ



1 - Класифікаційна схема ріжучих апаратів Н.Є. Резніка

Рисунок 2 – Різновиди

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

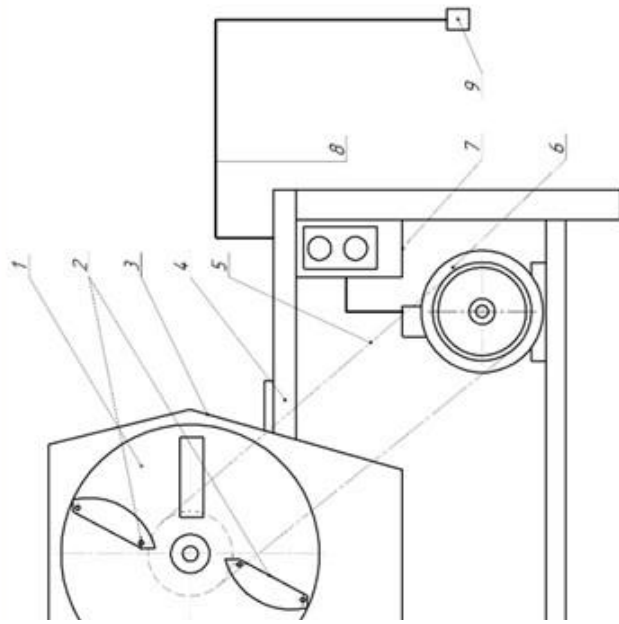


Рис. 3 – Конструкційна схема каліно-дискового подрібнювального кормів: 1 – диск; 2 – корпус; 4 – рама; 5 – пасова передача; 6 – електропривод; 7 – керування; 8 – мережевий

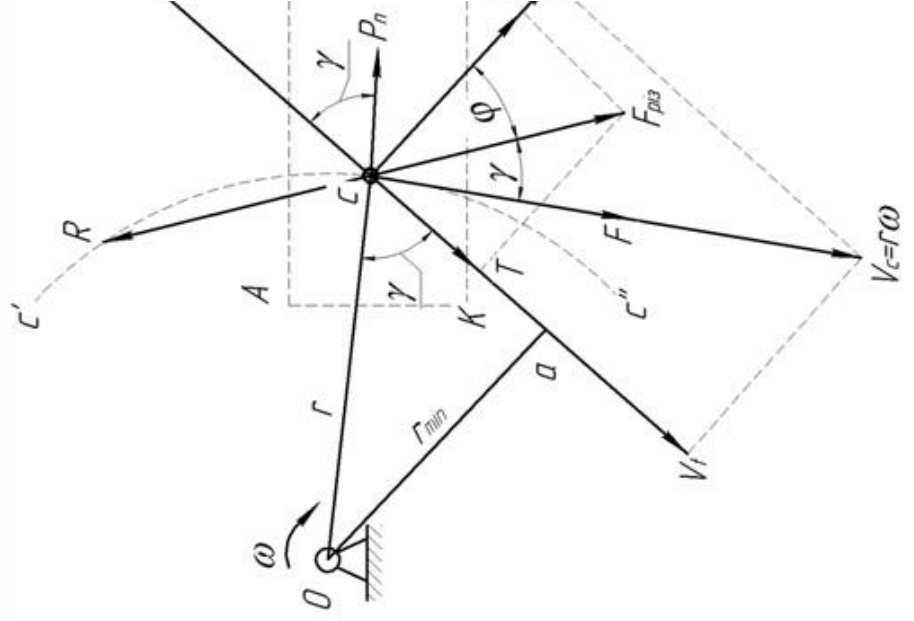


Рис. 4 – Схема сил що діють на



## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

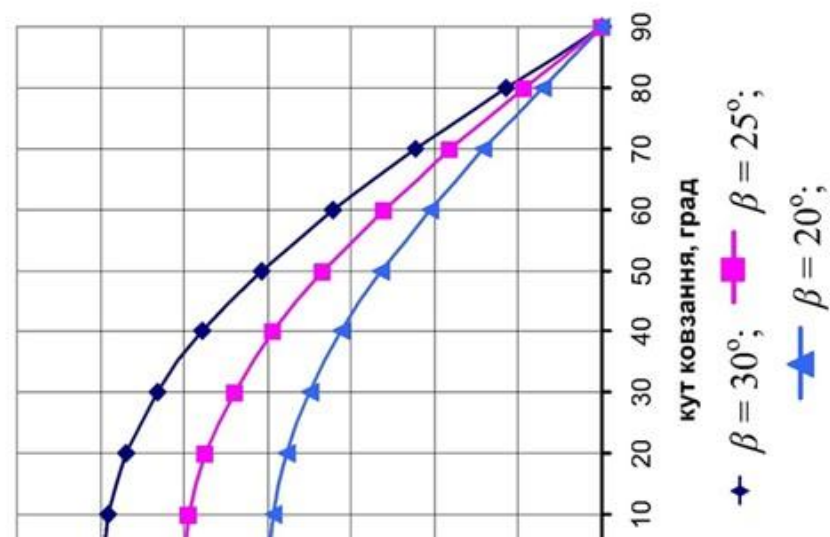


Рисунок 6 - Вплив величини кута ковзання у дискового ножа на зміну

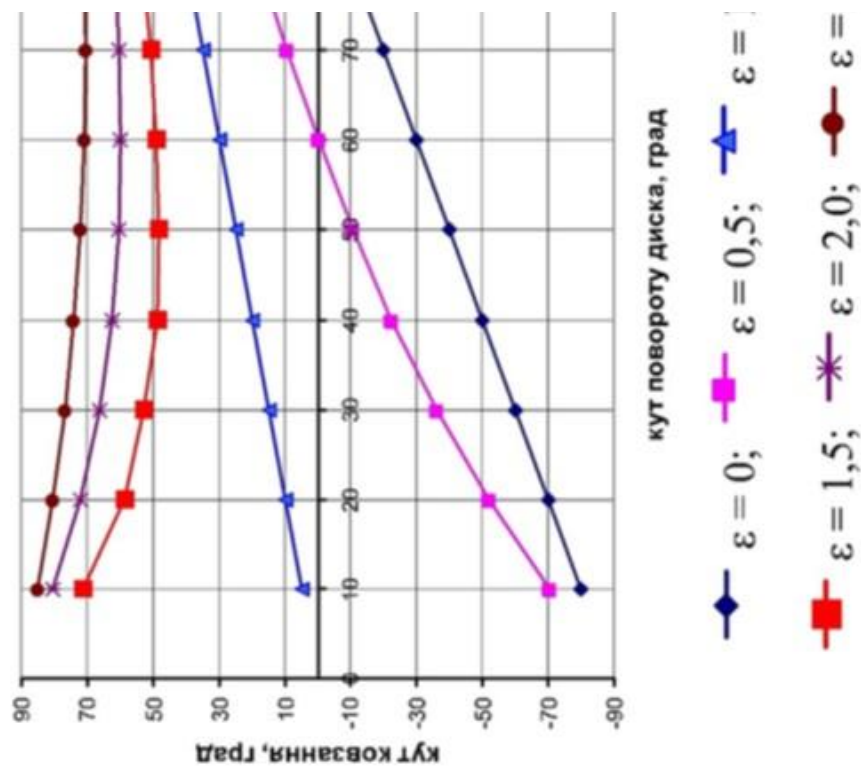
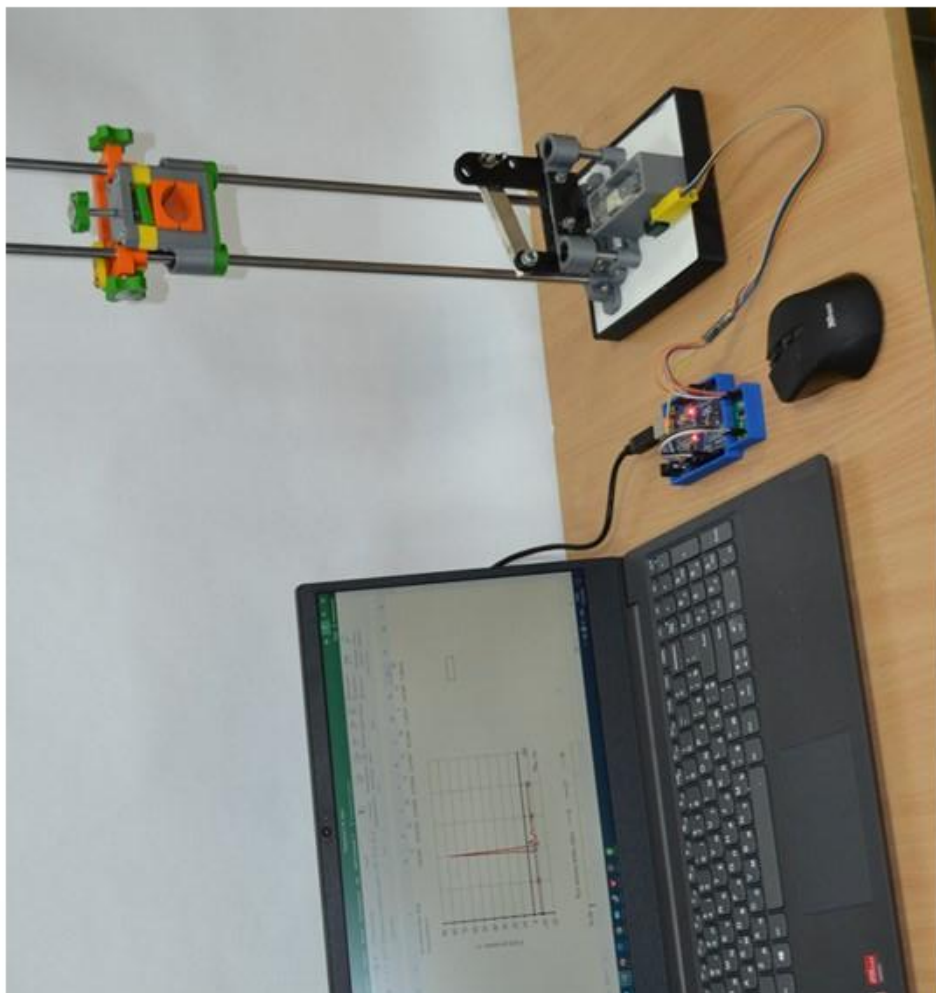


Рисунок 7 - Залежність кута ковзання кута повороту диска Δθ при різних



## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Зк 8 – Загальний вигляд лабораторної установки

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

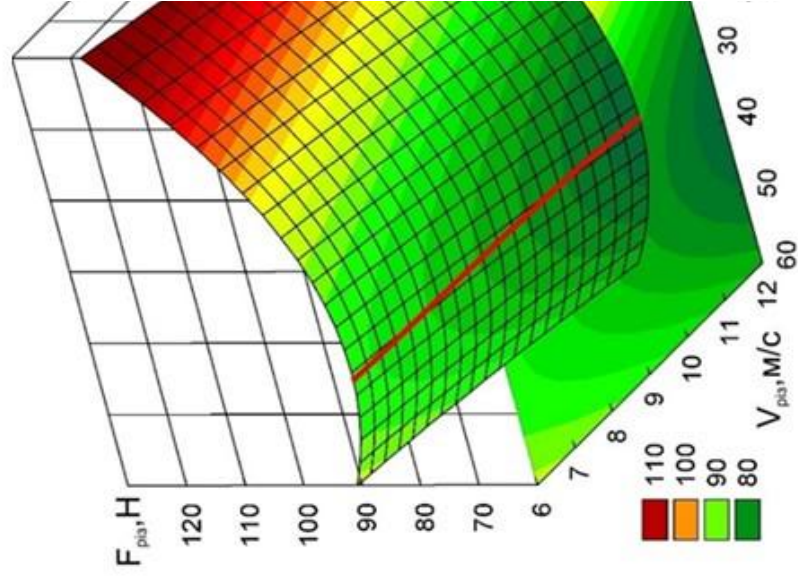
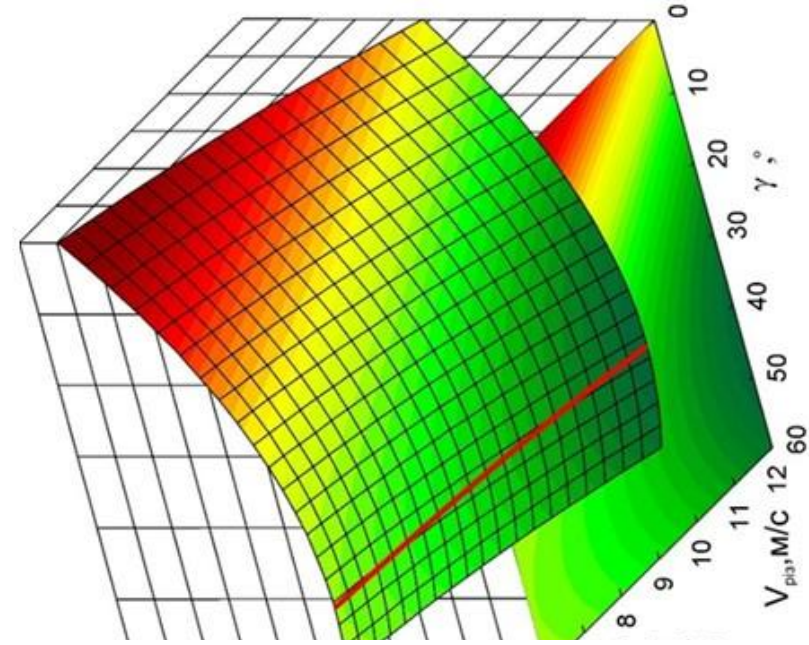


Рисунок 10 – Залежність зусилля від кута нахилу прямого

Рисунок 11 – Залежність зусилля від кута нахилу криволінійного

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ



Рисунок 12 – Загальний вид експериментального обладнання

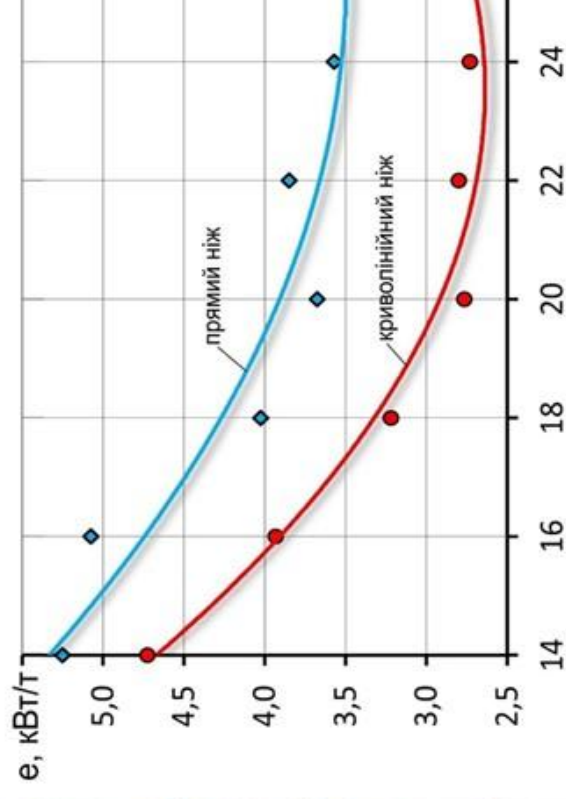


Рисунок 13 – Залежність питомої енергоємності подрібнення від шви різання прямим та криволінійним

## ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Контролю показників безпеки подрібнювача стеблових кормів

Найменування вузла машини	Контролюючий показник, нормативні вимоги безпеки	Метод оцінки прилади, обладнання	Період
2	3	4	
лектродвигун	Відсутність пилу та бруду. Надійність кріплень. Наявність та справність заземлення. Ступінь нагріву. Надійність контактів з'єднання	Зовнішній огляд Випробування Огляд, випробування	
Гривід подрібнювача	Наявність захисних кожухів.	Зовнішній огляд	
ама	Надійність зварної конструкції	Випробування	
лектрощафа	Відсутність пилу та бруду. Відсутність вологи. Справність заземлення.	Зовнішній огляд Випробування	
блок керування	Відсутність пилу, бруду, механічних пошкоджень. Надійність кріплень. Наявність та справність заземлення.	Зовнішній огляд Випробування	
Луфта	Наявність та справність заземлення.	Зовнішній огляд Випробування	

Позначення: ○ – щозмінний; □ – щомісячний; △ – сезонний (рік)

## ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА

Показник	ПРР-1М	№ подрі
кількість операторів, люд.	1	
динна тарифна ставка, грн/год.	54,2	5
кількість робочих днів на рік	365	3
голів'я корів на малій фермі, гол.	20	
потреба в стебловому кормі, кг/гол.	22	
потреба в стебловому кормі по фермі, кг	440	4
продуктивність подрібнювача, кг/год	300	3
кількість роботи подрібнювача на добу, год.	1,47	1
лансова вартість подрібнювача, грн.	8850	8
коєфіцієнт відрахувань на амортизацію, %	10	
коєфіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, %	8	
вартість електроенергії, грн/кВт*год	2,32	2
потужність на привод, кВт	2,5	
витрати на заробітну плату, грн.	35398,38	321
амортизаційні відрахування, грн.	885,00	89
витрати на ремонт і ТО, грн.	708,00	71
витрати на електроенергію, грн.	3104,93	225
оплати за сплату витрат, грн.	40096,31	360
розрахунок економічності експлуатаційних витрат, грн.	-	405
розрахунок економічності нового подрібнювача, років	-	2

Ця пропонування подрібнювача стеблових кормів пресованому вигляді в порівнянні з ПРР-1М дозволяє знизити питомі енерговитрати на 41,5 % та отримати додатковий ефект у сумі 4055,93 грн. Термін окупності податкових заощаджень в

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результатами проведеного аналізу можна сказати, що існує проблема: є спектр машин, призначених для обробки кормів, але аналіз показників питомої енергоємності цих технічних засобів показав, що вони досить часто форм господарювання необхідний агрегат, який виконує функції приготування кормів у формі споживача, але для малих форм господарювання таких машин розроблено мало. Можливою причиною є низькою енергоємністю, щоб підвищити ефективність роботи у фермерських господарствах та інших малих фермах.

Висновком комплекс теоретичних досліджень дозволяє сформулювати наступне: встановлено, що мінімальна енергоємність криволінійного ножа будуть при кутах його нахилу  $36...57^\circ$ ; зменшення зсуву кута за допомогою кінематичної трансформації кута загострення ножа; в залежності від величини коефіцієнта  $\mu$  ніж містить ділянки леза, які працюють як у режимі нормального, похилого так і ковзного різання. Чим більше значення кута тертя на всій ділянці дуги леза ножа ( $\gamma > \phi_1 + \phi_2$ ), то має місце кінематична зміна величини кута загострення  $\beta_1$ , залежно від кута ковзання  $\gamma$ , для лез із різним кутом ковзання  $\gamma$  сприяє збільшенню коефіцієнта трансформації  $k$ , який характеризує добуток кута загострення від його перетворення, що має прямопропорційну залежність. При різанні пучка трави кут загострення ножа зменшується майже вдвічі (якщо  $\beta = 30^\circ$  то  $\beta_1 \approx 16^\circ$ ); зміна величини кута загострення  $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$  інтенсивно проходить при куті установки дискового ножа  $\Delta\theta$  від  $0^\circ$  до  $15^\circ$ .

Результатами лабораторних та експериментальних досліджень процесу подрібнення стеблових кормів встановлено, що сила різання буде залежати: майже лінійно від швидкості різання; з чітко вираженою залежністю від кута нахилу ножа; за використання криволінійного ножа характер залежності сили різання а саме мінімальне значення  $76 \text{ Н}$  спостерігається при нахилі ножа на  $38,2^\circ$ ; дослідження експериментальних показників стеблових кормів показали, що для заданих умов найменша енергоємність  $e_n = 3,5 \text{ кВт-год/т}$  буде при  $v=25,2 \text{ м/с}$  (або  $1350 \text{ хв}^{-1}$ ), при роботі з криволінійним ножем:  $e_k = 2,6 \text{ кВт-год/т}$  при  $v=$

Висновком актуальних нормативних документів та згідно правил охорони праці нами виконано дослідження стеблових кормів, встановлена дія шкідливих та небезпечних факторів на операції планування заходи та приведено вимоги до безпечного проведення робіт. З'ясовано, що найбільш небезпечним фактором є черговість дій оператора при її виникненні.

Висновком запропонованого подрібнювача стеблових кормів пресованому вигляді в порівнянні з існуючими

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

**ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ**

**ІНЖИНІРИНГ АГРОПРОМИСЛОВОГО  
ВИРОБНИЦТВА**

**Всеукраїнська студентська науково-практична конференція**

**Дніпро, 2021**

**УДК 631:62-5**

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

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

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

Адреса оргкомітету:

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

© ДДАЕУ, 2021

© Автори публікацій, 2021



**Оргкомітет конференції****Голова:**

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

**Співголови:**

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

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

**Члени оргкомітету:**

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

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

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

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

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

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

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

<b>Ріпний В.О.</b> РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИЩУВАЧА СТІЙЛ	66
<b>Черненко К.К.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРЕНЕПЛОДІВ	69
<b>Івлєва В.В.</b> ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ШЕСТЕРЕННОГО ГРАНУЛЯТОРА КОРМІВ	72
<b>Наливайко М.Я.</b> ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ КОРМІВ	75
<b>Лагутін Р.В.</b> КЛАСИФІКАЦІЯ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ГОДІВЛІ ВРХ	78
<b>Хрущ В.В.</b> РІВЕНЬ ВИКОРИСТАННЯ КОМБІКОРМІВ В УКРАЇНІ ТА ЗАСОБИ ДЛЯ ЇХ ПРИГОТУВАННЯ	80
<b>Панкєєв П.М.</b> ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ВПРОВАДЖЕННЯ УЛЬТРАМАЛООБ'ЄМНОГО ОБПРИСКУВАННЯ	82
<b>Ватченко А.Р.</b> РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОДРІБНЮВАЧА КОРМІВ	86
<b>Підберезний К. Г.</b> АНАЛІЗ ВПЛИВУ СТРУКТУРНОГО СКЛАДУ ТА ЩІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ НА ВРОЖАЙНІСТЬ С.-Г. КУЛЬТУР	89
<b>Юрак Д.О.</b> АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ВИКИДІВ	93
<b>Жданова І.О.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ	94

УДК 631:62

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ  
ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ**

Жданова І.О.

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

Годівля великої рогатої худоби поживними кормами забезпечує високу продуктивність тварин. Процес подрібнення кормів є трудомістким, тому необхідні ефективні та ресурсозберігаючі технічні засоби з приготування кормів ВРХ. В Україні налічується понад 2 тисячі малих ферм (до 100 корів). Є велика кількість ферм від 100 до 400 корів. Частка ручної праці на малих формах, селянських-фермерських господарствах, особистих підсобних господарствах досягає 65% і більше, що зумовлено відсутністю ресурсозберігаючих засобів для виконання технологічних операцій під час виробництва продукції тваринництва. Застосування досить енергоємних існуючих типів подрібнювачів, особливо в умовах підприємств малих ферм, збільшує собівартість продукції тваринництва. Тому розробка нових типів подрібнювачів із низькою енергоємністю є актуальним завданням.

Метою експериментального дослідження є визначення факторів, що впливають на енерговитрати подрібнювача стеблових кормів. Обґрунтування раціональних конструктивних параметрів та режимів роботи подрібнювача стеблових кормів, при яких руйнування частинок корму, що переробляється, можливо з найменшою витратою енергії.

Під дією відцентрових сил, корм потрапляє на подрібнюючі двоплощинні дугового профілю сегменти і зубчасті сегменти, розташовані по периметру подрібнювального робітника органа, на ріжучих кромках яких відбувається подрібнення як вздовж так і уперек волокон.

При кутовій швидкості обертання  $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$  і вище середньозважена довжина частинок становить  $L_{\text{ср}} = 45 \text{ мм}$ , що відповідає зоотехнічним вимогам. Відповідно до вимог при подрібненні соломи та сіна розмір частинок повинен бути для великої рогатої худоби в межах  $L_{\text{ср}} = 20 - 50 \text{ мм}$ . Аналіз залежності продуктивності  $Q$  показав, що за кутової швидкості обертання подрібнюючого робочого органу = від 2,1 до 5,2  $\text{с}^{-1}$ , продуктивність машини збільшується від 1,1 до 6 т/год і вище. За рахунок механічної енергії, а також додаткового повітряного потоку, ефекту всмоктування та центробежних сил подрібнення корму відбувається швидше, ніж на низькій частоті обертання подрібнювального робочого органу.

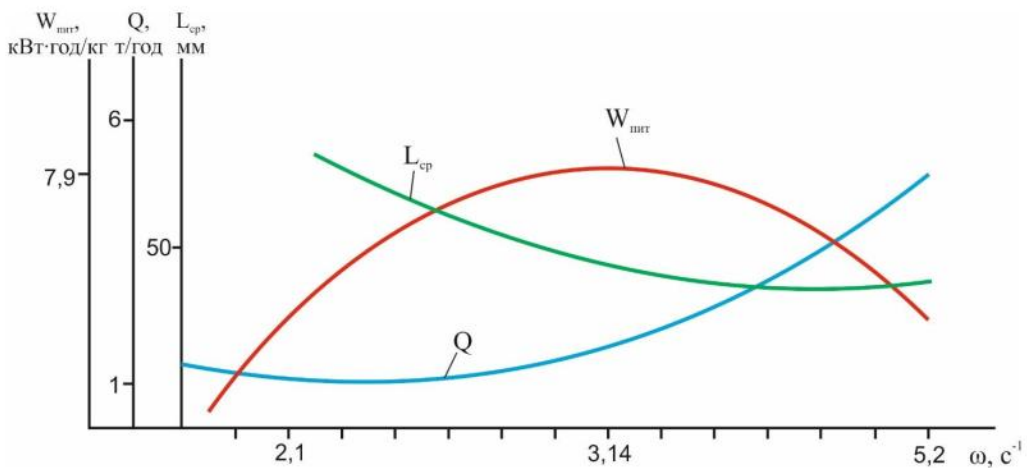


Рисунок 3.6 – Графік експериментальних залежностей середньозваженої довжини частинок, питомої енергоємності, продуктивності від кутової швидкості обертання подрібнювального робочого органу

Графік експериментальної залежності питомої енергоємності  $W_{\text{пит}}$  на рис. 3.6 показує, що максимальні витрати питомої енергоємності  $W_{\text{пит}}=0,0079 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$  ( 7,9 кВт

год/т) знаходяться при кутовій швидкості обертання подрібнювального робочого органу, що дорівнює  $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$ . У початковий момент часу, витрати енергії мінімальні та становлять  $W_{\text{пит}} = 0,005 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$  ( $5 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$ ), тому спочатку показник питомої енергоємності низький, а потім наростає.

Аналізуючи графік експериментальних залежностей продуктивності  $Q$ , можна відзначити, що при кількості подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів,  $n = 6$  значення  $Q = 1,1 \text{ т/год}$ , при цьому аналіз залежності середньозваженої довжини частинок  $L_{\text{ср}}$  показав, що  $L_{\text{ср}} = 50$  також при  $n=6$ , а залежність питомої енергоємності за  $Z = 6$  показує мінімальне значення  $W_{\text{пит}} = 0,002 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$  ( $2 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$ ), що узгоджується з попередніми графіками залежностей.

Знайдено раціональні значення параметрів подрібнювача стеблових кормів при яких довжина різання відповідає зоотехнічним вимогам для ВРХ при  $L_{\text{ср}} = 50 \text{ мм}$ : кутова швидкість подрібнювального робочого органу змінюється у межах  $\omega =$  від  $3,2$  до  $4,6 \text{ с}^{-1}$ ; кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнювального робітника органу  $Z = 6 - 9$ ; кількість подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів  $n = 7 - 9$ ; кут між подрібнюючим робочим органом конусного типу та горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами  $\alpha =$  від  $30^\circ$  до  $35^\circ$ .

Згідно з графіками, побудованими в результаті пошукових досліджень, максимальні витрати питомої енергоємності  $W_{\text{пит}} = 0,0079 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$  ( $7,9 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$ ) знаходяться при кутовій швидкості обертання подрібнюючого робочого органу рівної  $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$  та залежність питомої енергоємності при  $Z = 6$  показує мінімальне значення  $W_{\text{пит}} = 0,002 \text{ кВт}\cdot\text{год/кг}$  ( $2 \text{ кВт}\cdot\text{год/т}$ ).

#### Список використаних джерел:

1. Егоров Б.В., Мартынов С.А., Хоренжий Н.В. Технология производства кормовых смесей на основе соломы злаковых культур // Наукові праці ОДАХТ.- Вип. 21.- Одеса, 2001.- С. 194-198.
2. Ясенецкий В.А., Гончаренко П.В. Машины для измельчения кормов: Под редакцией акад. ВАСХНИЛ Л.В. Погорелого. – К.: Техника, 1990. – 166 с.