

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**  
**Інженерно-технічний факультет**  
**Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ»**

**Виконав:**

здобувач вищої освіти освітнього ступеня  
«Магістр» освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності  
208 «Агроінженерія» денної форми навчання  
**ЛУК'ЯНОВ Валентин Романович**

**Керівник:**

кандидат технічних наук, доцент  
**КОМАРНІЦЬКИЙ Сергій Петрович**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**Допускається до захисту:**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми  
«Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія»,  
кандидат технічних наук,  
доцент \_\_\_\_\_

**ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	8
<b>1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ</b>	10
1.1 Характеристики стеблових кормів	10
1.2 Огляд технічних засобів подрібнення стеблових кормів	13
1.3 Огляд наукових досліджень процесу роботи подрібнювачів	19
1.4 Висновки	20
<b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЛОВОГО КОРМУ РІЗАННЯМ</b>	22
2.1 Теоретичні передумови процесу	22
2.2 Моделювання роботи дискового подрібнювача стеблових кормів	25
2.3 Дослідження впливу трансформації кута загострення леза у процесі різання	27
2.4 Висновки	28
<b>3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЛОВИХ КОРМІВ</b>	30
3.1 Мета, завдання і програма досліджень	30
3.2 Обладнання для проведення експериментальних досліджень	30
3.3 Програма та методика досліджень процесу різання	34
3.4 Результати експериментальних досліджень	37
3.5 Висновки	39
<b>4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</b>	41
4.1 Загальні визначення та поняття	41
4.2 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів	42
4.3 Заходи по забезпеченню захисту робітника, який працює з подрібнювачем від дії шкідливих та небезпечних факторів	42
4.4 Правила безпеки при виконанні робіт з подрібнення стеблових кормів	43
4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях	46
4.6 Висновки	47

<b>5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ</b>	
<b>ПРОЕКТОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ</b>	<b>49</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	<b>51</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>53</b>

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Інженерно-технічний факультет  
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін  
Освітній ступінь «Магістр»  
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри,  
доцент \_\_\_\_\_ Василь ДУГАНЕЦЬ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу

Здобувачу ЛУК'ЯНОВУ Валентину Романовичу

1. Тема роботи: **«ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ»**

2. Керівник роботи: КОМАРНІЦЬКИЙ Сергій Петрович, доцент  
Затверджено наказом ЗВО «ПДУ» від «04» квітня 2025 року № 355с.  
Строк подання студентом закінченої роботи 14 листопада 2025 р.

**Вихідні дані до роботи:**

1. Матеріали виробничої практики.
2. Науково-технічна література.
3. Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування кормів, зокрема подрібнювачів стеблових кормів.
4. Патентний пошук.

**Зміст розрахунково-пояснювальної записки:**

**Вступ**

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ
  2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЛОВОГО КОРМУ РІЗАННЯМ
  3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЛОВИХ КОРМІВ
  4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ
  5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЕКТОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ
- ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ  
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## Перелік ілюстративного матеріалу:

1. Мета і завдання досліджень.
2. Огляд технічних засобів подрібнення стеблових кормів.
3. Показники ефективності подрібнювачів стеблових кормів та конструкційна схема вертикально-дискового подрібнювача стеблових кормів.
4. Теоретичні передумови процесу подрібнення стеблового корму різанням.
5. Моделювання роботи дискового подрібнювача стеблових кормів.
6. Обладнання для проведення експериментальних досліджень.
7. Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів плану експерименту та рівні варіювання факторів.
8. Матриця плану експерименту та рівні варіювання факторів.
9. Загальний вид експериментального подрібнювача.
10. Результати експериментальних досліджень.
11. Показники економічної ефективності подрібнювача.
- 12-13. Загальні висновки

## Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Консультант з нормоконтролю	Девін В.В., доцент		

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділів кваліфікаційної роботи	Строк виконання розділів роботи		Підпис керівника
		планово	фактично	
1.	Вступ	16.04.2025	16.04.2025	
2.	Аналіз стану питання	28.04.2025	28.04.2025	
3.	Теоретичні дослідження процесу подрібнення стеблового корму різанням	30.05.2025	30.05.2025	
4.	Експериментальні дослідження процесу подрібнення стеблових кормів	05.09.2025	05.09.2025	
5.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	31.10.2025	31.10.2025	
6.	Економічна ефективність застосування проєктованого подрібнювача стеблових кормів	04.11.2025	04.11.2025	
7.	Загальні висновки і рекомендації	07.11.2025	07.11.2025	
8.	Список використаної літератури	11.12.2025	11.12.2025	

Здобувач

Керівник роботи, доцент

**Валентин ЛУК'ЯНОВ**

**Сергій КОМАРНІЦЬКИЙ**

ЛУК'ЯНОВ В.Р. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача стеблових кормів / Кваліфікаційна робота. Кам'янець-Подільський, ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ», 2025.

Кваліфікаційна 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. У розділ п'ять обґрунтовано економічну ефективність застосування проектного подрібнювача стеблових кормів.

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

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота містить зміст, вступ, п'ять основних розділів, висновки та список використаних джерел. У першому розділі представлено огляд подрібнювачів стеблових кормів, наведено їхню класифікацію та визначено ключові напрями розвитку теорії відповідного процесу. Другий розділ присвячено теоретичному обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів криволінійного ріжучого апарата подрібнювача стеблових кормів. У третьому розділі викладено результати експериментальних досліджень цих параметрів. Розділ з охорони праці містить аналіз роботи подрібнювача з криволінійним ріжучим апаратом з позицій безпеки праці. П'ятий розділ розкриває економічну ефективність використання проектованого подрібнювача стеблових кормів.

## ВСТУП

Забезпечення великої рогатої худоби високоякісними та поживними кормами є важливою умовою отримання високої продуктивності. Однак процес подрібнення кормів залишається трудомістким, що зумовлює необхідність упровадження ефективних і ресурсозберігаючих технічних засобів для приготування кормів для ВРХ. В Україні функціонує понад дві тисячі малих ферм (до 100 корів), а також значна кількість господарств із поголів'ям від 100 до 400 корів. У дрібних та селянських-фермерських господарствах частка ручної праці сягає 65% і більше через нестачу сучасних ресурсозберігаючих технологій у тваринництві. Використання енергоємних подрібнювачів, особливо на малих фермах, призводить до підвищення собівартості тваринницької продукції. Тому створення подрібнювачів нового типу з низьким енергоспоживанням є важливою та актуальною задачею.

Одним із напрямів зменшення енергоємності є застосування дискових робочих органів, оснащених комбінованими сегментами.

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

Завдання дослідження передбачають:

- виконання огляду існуючих конструкцій подрібнювачів стеблових кормів, розроблення їх класифікації та аналіз теоретичних напрацювань, що стосуються теми роботи;
- проведення теоретичного аналізу роботи ріжучого апарата з криволінійним ножом і визначення чинників, які впливають на енерговитратність процесу;
- здійснення лабораторних та експериментальних досліджень процесу різання стеблових кормів ножами різних типів.
- надати економічне обґрунтування ефективності впровадження запропонованого подрібнювача стеблових кормів.

Об'єктом дослідження є процес подрібнення стеблових кормів за допомогою ножового ріжучого апарата.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії технологічних і конструктивних параметрів ріжучого апарата подрібнювача стеблових кормів.

# 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

## 1.1 Характеристики стеблових кормів

Проведений аналіз спрямований на визначення ключових механіко-технологічних властивостей грубих стеблових кормів, які мають найбільший вплив на ефективність їх подрібнення.

Особливості взаємодії робочих органів подрібнювача з кормовою масою, рівень енерговитрат, матеріаломісткість обладнання та якість подрібнення значною мірою залежать від таких характеристик: структури та вологості корму, початкових розмірів стебел, об'ємної маси (щільності), коефіцієнтів внутрішнього і зовнішнього тертя, кута природного укусу, опору стебел різанню, а також ступеня забруднення сторонніми домішками та інших факторів.

Основні механіко-технологічні властивості грубих стеблових кормів наведені 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

Вологість є однією з ключових механіко-технологічних властивостей грубих стеблових кормів. Дослідження багатьох учених підтверджують, що підвищення вологості стебел спричиняє зростання енергоспоживання під час подрібнення та зменшення ступеня його ефективності. Крім того, зі збільшенням

вологості підвищується продуктивність ножових подрібнювачів, тоді як ефективність молоткових — навпаки, падає. В умовах зберігання в скиртах вологість стеблових кормів може змінюватися від 8–10% у липні-серпні до 30% у січні-лютому, що необхідно враховувати під час розроблення нових високоефективних подрібнювачів.

Не менш важливою характеристикою є структура стебла. Воно виконує низку ключових функцій: підтримує масу рослини, протистоїть статичним і динамічним навантаженням, забезпечує листя водою й розчиненими мінеральними речовинами, а також накопичує поживні речовини [12]. Залежно від біологічних та морфологічних особливостей рослин ці функції можуть бути розвинені по-різному, що зумовлює значну різноманітність будови стебел.

Основою будови будь-якої рослини є жива клітина — елементарна, відокремлена та цілісна система складної організації, що володіє усіма життєвими властивостями. Клітинна стінка вирізняється високою міцністю на розтягнення. Найчастіше вона містить целюлозу (клітковину), геміцелюлозу (напівклітковину) та пектинові речовини. У клітині розрізняють первинну й вторинну оболонки. Вторинна утворюється на внутрішній поверхні первинної та складається переважно з целюлози. Саме значний вміст целюлози забезпечує високі механічні властивості клітинної оболонки, зокрема міцність на розтяг і еластичність. Молекули целюлози формують ниткоподібні субмікроскопічні структури — мікрофібрили, які складаються з чергування кристалічних і аморфних зон.

Для всіх рослин характерна радіальна структура стебла, яка включає зовнішню шкірку та центральний циліндр. Центральний циліндр утворений паренхімними клітинами основної тканини, що є неоднорідною за своєю будовою у поперечному перерізі: зі зменшенням розміру клітин їх міцність підвищується. У деяких рослин паренхімні клітини центрального циліндра можуть розриватися, унаслідок чого формується порожнисте стебло (соломина).

Міцність рослинного тіла та його органів забезпечується всіма видами тканин і клітин — як живими, так і мертвими. Поряд із тканинами, що виконують

роль «заповнювача» (аналогічно бетонній частині залізобетону), у рослинах є й такі, що функціонують подібно до арматури, пронизуючи або навіть охоплюючи основну масу тканини.

У рослинних органах тканини зазвичай формують складні комплекси (рис. 1.1 і 1.2), які пов'язані спільністю походження та розташування. Одним із найпоширеніших таких комплексів є провідні пучки — структури, що складаються з трьох видів тканин: провідної, механічної та основної, кожна з яких виконує свої специфічні функції.

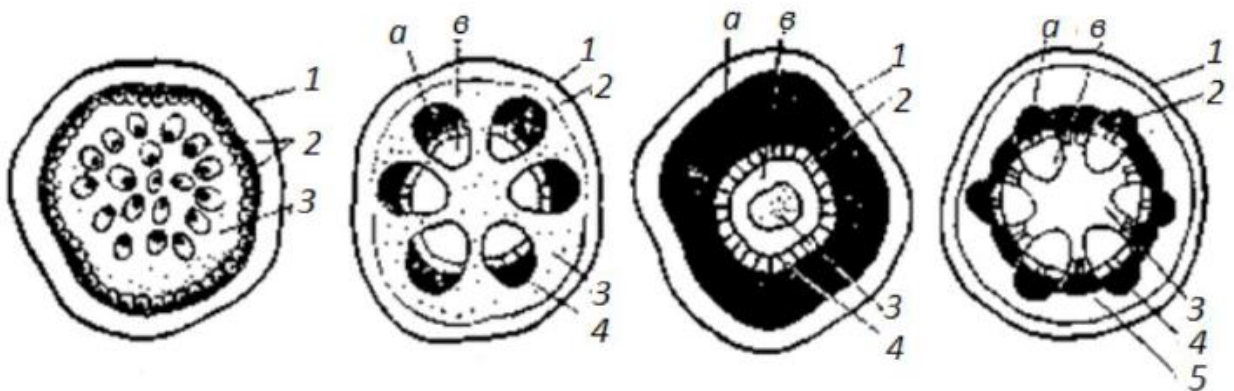


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення розташування тканин у поперечному зрізі стебла:

1 – епідерміс; 2 – провідна тканина; 3 – основна паренхіма; 4 – пучковий камбій; 5 – міжпучковий камбій; а – флоема; в – ксилема.

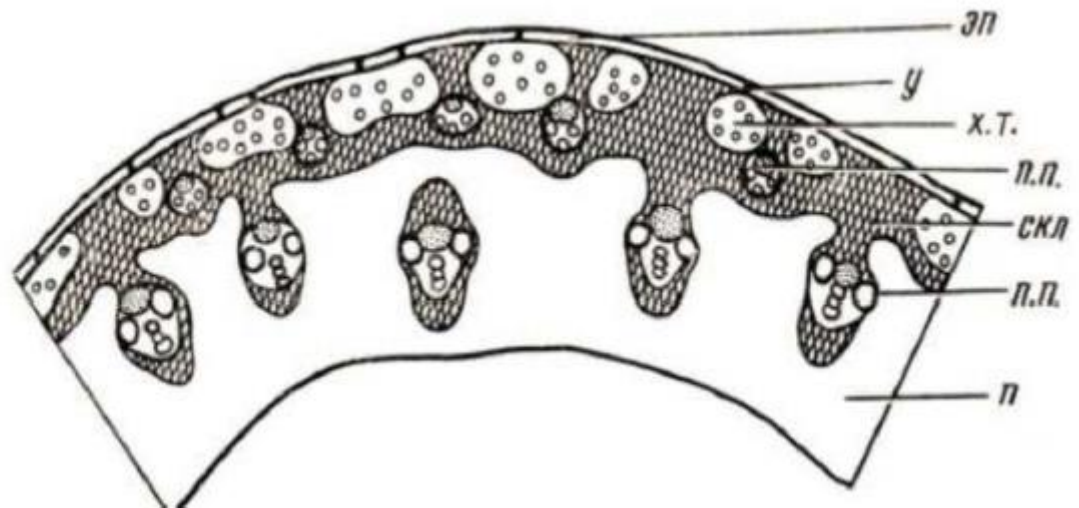


Рисунок 1.2 – Схематичне зображення будови стебла жита (соломини):  
 п – паренхімна тканина; п.п. – закриті колатеральні провідні пучки; скл – склеренхіма; у – продих; х.т. – хлорофілоносна тканина; еп – епідерма.

## 1.2 Огляд технічних засобів для подрібнення стеблових кормів

Подрібнення грубих кормів є ключовою умовою їх ефективного засвоєння тваринами. Воно зумовлене зоотехнічними вимогами та надає корму необхідних технологічних властивостей, що забезпечують зручність його завантаження, вивантаження, транспортування, дозування, змішування та рівномірного розподілу.

Основні зоотехнічні вимоги стосуються рівня забруднення кормів, ступеня їх подрібненості та відсутності шкідливих домішок. Незалежно від виду або призначення корму, він має зберігати максимальну кількість поживних речовин, які легко засвоюються тваринами; не містити або містити мінімально допустимі концентрації токсичних чи шкідливих компонентів, що можуть негативно вплинути на здоров'я тварин. Корм повинен мати привабливий зовнішній вигляд, бути без ознак псування, відповідати властивому йому кольору й запаху та вирізнятися добрими смаковими якостями.

Дотримання зазначених вимог створює сприятливі умови для перебігу біологічних і хімічних процесів у травному тракті тварин, що підвищує рівень засвоюваності кормів. У тваринництві подрібнення грубих кормів здійснюють механізованим способом за допомогою спеціальних подрібнювачів.

Оскільки їхній робочий процес часто охоплює кілька технологічних операцій одночасно, такі машини отримують комбіновані назви, наприклад: подрібнювач-роздавальник, подрібнювач-змішувач тощо. Показовим прикладом є подрібнювач рулонів ПРК-01 (рис. 1.3). Це багатофункціональне обладнання забезпечує завантаження, розрізання та роздавання щільно спресованих рулонів трав будь-яких видів.



Рис. 1.3.

До характерних особливостей цього обладнання належать: можливість завантаження рулонів масою до 850 кг, наявність повністю автономної гідросистеми та дистанційне керування подрібнювачем безпосередньо з кабіни трактора. Багатофункціональний кормоприготувальний агрегат АКМ-9 (рис. 1.4) є універсальним причіпним подрібнювачем-змішувачем. Він призначений для приготування повнораціонних кормових сумішей із довговолокнистого сіна, соломи, силосу, комбікормів, різноманітних харчових добавок і мінеральних компонентів для великої рогатої худоби. Агрегат також забезпечує дозовану подачу корму у годівниці або на кормовий стіл.



Рис. 1.4.

Застосування АКМ дає можливість готувати корми відповідно до заданого раціону, підвищувати їх поїдання тваринами, повністю механізувати процес годівлі та скоротити витрати, пов'язані з приготуванням і роздаванням кормів.

Як приклад подрібнювача-змішувача з горизонтальним розташуванням робочих органів можна навести кормозмішувач «Miks Maks» (рис. 1.5). У його конструкції використовується вал із лопатями, на які закріплено ножі, що забезпечує ефективніше перемішування кормової маси.



Рис. 1.5.

Розташування подрібнювальних ножів забезпечує отримання оптимальної для жуйних тварин довжини різання — близько 3–5 см, що відповідає їхнім фізіологічним потребам. Кормозмішувач «Mixs Maks» дає змогу змішувати та роздавати практично всі види кормових компонентів: грубі, соковиті, концентровані, рідкі (наприклад, патоку), а також свіжозрізану зелену масу.

Подрібнювач Н-186 (рис. 1.6) призначений для подрібнення круглих рулонів соломи, сіна та сінажу з максимальною допустимою величиною рулону  $1,2 \times 1,5$  м.



Рис. 1.6.

Рулон подається з ґрунту за допомогою задньої завантажувальної стінки, робота якої забезпечується гідравлічним сервоприводом. Ротор і ріжучий барабан подрібнювача отримують привод від валу відбору потужності трактора ( $540 \text{ хв}^{-1}$ ) через кутовий редуктор і ланцюгову передачу. Гідравлічний привід завантажувальної стінки, нижнього транспортера та вихідного короба працює від гідравлічної системи трактора. Керування гідравлічними операціями здійснюється з кабіни тракториста за допомогою важелів трисекційного гідророзподільника.

Мобільний подрібнювач-роздавач рулонованих грубих (стеблових) кормів (рис. 1.7) використовується для навантаження, транспортування, подрібнення сіна та соломи, підготовлених у вигляді рулонів або тюків, а також для їх роздавання у годівниці або внесення як підстилки. За потреби машина може подрібнювати корми, заготовлені у розсипному вигляді. Крім того, подрібнювач-роздавач здатний переробляти сінаж у рулонах з подальшою дозованою подачею тваринам.



Рис. 1.7.

Обладнання призначене для подрібнення та роздавання по годівницях сіна чи соломи, заготовлених у рулонах, на фермах великої рогатої худоби, а також для внесення підстилки та розкидання подрібненого матеріалу у стійлах, теплицях та інших приміщеннях.

Сучасні виробники прагнуть створювати мобільні подрібнювачі-роздавачі грубих кормів, які є максимально практичними, універсальними, простими у виробництві, експлуатації та технічному обслуговуванні, а також потребують мінімальних витрат у процесі виготовлення.

Що стосується стаціонарних технічних засобів, то вони характеризуються значною продуктивністю, призначені для великих фермерських господарств, і їх застосування на малих фермах є недоцільним через надмірно високу продуктивність та потужність.

Таблиця 1.1

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 роботи подрібнювачів

Наукові роботи та практичний досвід експлуатації подрібнювачів стеблових кормів показують, що подрібнення є одним із ключових технологічних етапів, який потребує значних енергетичних витрат. У межах таких досліджень розглядають технологію подрібнення та технічні засоби механізації, щоб обґрунтувати теоретичні положення й експериментальні підходи до вдосконалення механізованих процесів. Енерговитрати на подрібнення можуть бути оцінені на основі наявних теорій цього процесу.

Проаналізувавши наведені положення, можна дійти висновку, що дослідження та створення вискоелективних конструкцій машин для подрібнення стеблових кормів із низькою питомою енергоємністю є особливо актуальними на сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва. Подальший розвиток цих технологій має бути спрямований насамперед на зниження енерговитрат.

Сьогодні простежуються два основні напрями у створенні нових машин, здатних ефективно подрібнювати стеблові корми. Перший — удосконалення робочих органів, конструктивних рішень та процесу подрібнення в межах уже існуючих технологій підготовки стеблової сировини, при цьому особливий акцент робиться на енергозбереженні. Другий напрям — розробка машин, побудованих на принципах енергозберігальних технологій подрібнення.

Отже, для визначення енергоємності подрібнювального обладнання необхідно враховувати його продуктивність, яка залежить від конструктивних і режимних параметрів, властивостей вихідної сировини та бажаного ступеня подрібнення. Основними експлуатаційними характеристиками машин для подрібнення кормів є продуктивність, ступінь і якість подрібнення, а також питома енергоємність процесу.

Були сформульовані загальні рівняння кінетики процесу дроблення (тобто зміни параметрів подрібнення матеріалів у часі), на основі яких розроблено підходи до аналізу впливу різноманітних факторів на ефективність роботи подрібнювальних машин. Визначено закономірності зміни ключових робочих показників: ступеня подрібнення залежно від тривалості перебування матеріалу в робочій камері, модуля помелу (середнього розміру частинок) та питомих енерговитрат. Також побудовано відповідні регресійні моделі.

Для забезпечення стабільного регулювання модуля помелу та обґрунтування оптимальної форми внутрішньої поверхні робочої камери запропоновано нові технічні рішення у конструкціях багатоцільових подрібнювачів кормів. Аналіз робіт, присвячених підвищенню ефективності процесів механізованого подрібнення кормів, виконаних Альошкіним В.Р., свідчить про те, що багатоступінчаста схема подрібнення є дієвим шляхом зменшення енерговитрат і підвищення якості отриманого продукту. Дослідником запропоновано метод оптимізації багатоступінчастого подрібнення, а отримані аналітичні залежності дають змогу визначити оптимальний розподіл ступеня подрібнення між окремими стадіями процесу.

Теоретичні дослідження, виконані Башковим А.Ф., щодо робочого процесу двороторного подрібнювача грубих кормів відкритого типу дали змогу отримати

аналітичні залежності для визначення ударного імпульсу одиничного стебла по малій лопатці, що дозволяє оцінити ймовірність його руйнування. Також були виведені формули для обчислення пропускної здатності та питомих енергетичних витрат. На основі проведених досліджень розроблено методику інженерного розрахунку двороторного подрібнювача грубих кормів відкритої конструкції.

У результаті теоретичних досліджень, виконаних Сергієнком А.Г., щодо вдосконалення процесу підготовки грубих кормів та підстилки в подрібнювачі з похилим обертовим бункером, були отримані формули для визначення продуктивності та необхідної потужності подрібнювача. Виробничі випробування показали, що технологія обробки рулонів ножовим подрібнювальним апаратом забезпечує високу ефективність роботи. Крім того, встановлено, що застосування протирізальних елементів у подрібнювальному робочому органі молоткового типу дає можливість регулювати якість подрібнення і забезпечує отримання часток розміром 30–50 мм, що відповідає зоотехнічним вимогам.

#### **1.4 Висновки**

Аналіз проведених досліджень свідчить про наявність проблеми: хоча існує широкий спектр машин, призначених для подрібнення стеблових кормів, оцінка їхньої питомої енергоємності показує, що вона залишається надто високою. В умовах малих форм господарювання потрібен агрегат, здатний забезпечити процес приготування кормів і водночас відповідати фінансовим можливостям користувачів. Проте кількість таких машин для малих господарств є недостатньою. Отже, виникає потреба у створенні технічного засобу з низькою енергоємністю, який би сприяв підвищенню ефективності роботи фермерських, приватних і дрібних господарств.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЛОВОГО КОРМУ РІЗАННЯМ

### 2.1 Теоретичні передумови процесу

У роботі пропонується використання схеми компактного вертикально-дискового подрібнювача стеблових кормів, оснащеного криволінійними ріжучими ножами.

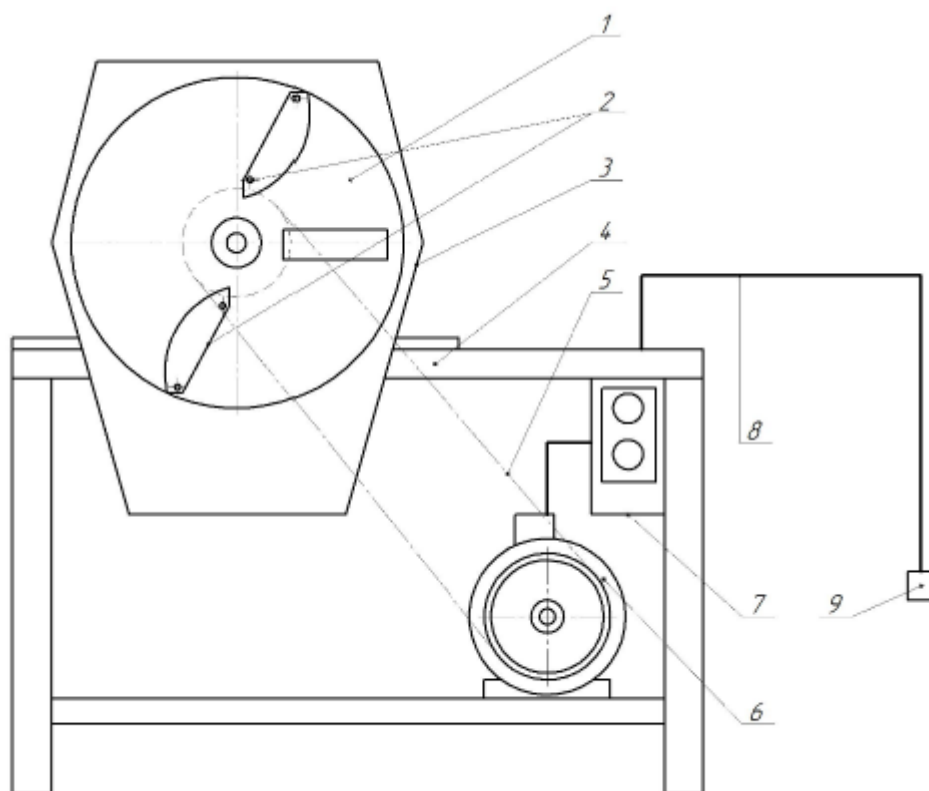


Рис. 2.1.

Запропонований подрібнювач має відмінності від базового варіанта за формою та кутом встановлення ножів. Тому далі виконаємо теоретичне обґрунтування застосування криволінійного леза та вибору оптимального кута його монтажу відносно осі обертання диска. Процес різання пучка стебел лезом включає два основні етапи: початкове ущільнення матеріалу та безпосереднє різання (рис. 2.2).

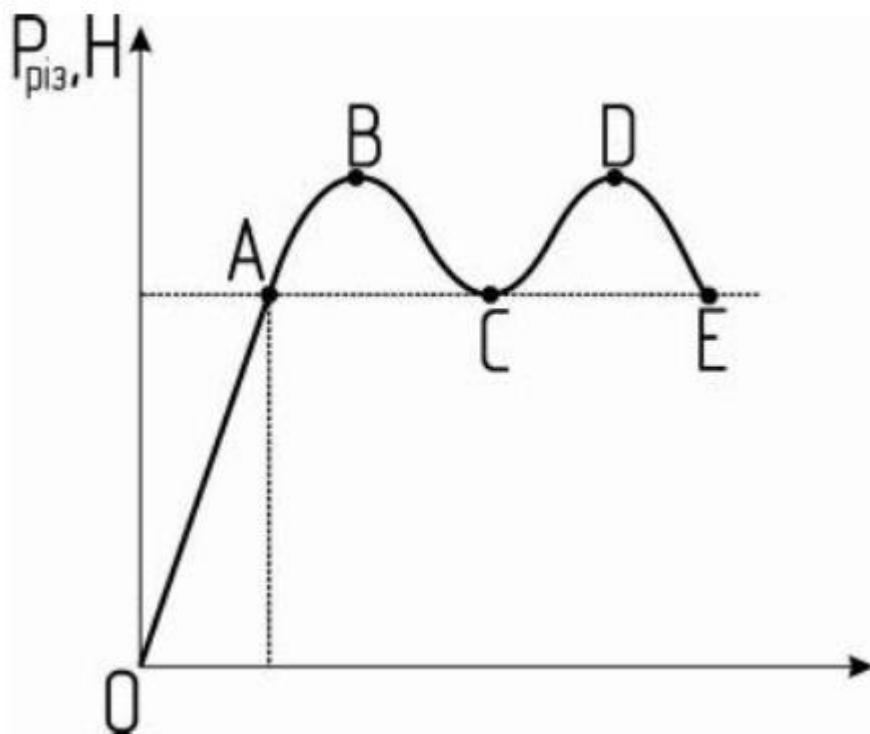


Рис. 2.2.

Попереднє ущільнення матеріалу здійснюється за допомогою вальців на ділянці OA та леза на ділянці AB. У фазі різання спостерігається зменшення зусилля, необхідного для розрізання стебел (ділянка BC).

Також можна зазначити, що на відрізках OA, AB тощо відбуваються переважно пружні деформації, тоді як на ділянках BC, DE та подібних — пластичні деформації, що супроводжуються руйнуванням матеріалу.

З діаграми видно, що процес різання починається тоді, коли сила стиску досягає певного критичного значення, яке перевищує міцність матеріалу на руйнування.

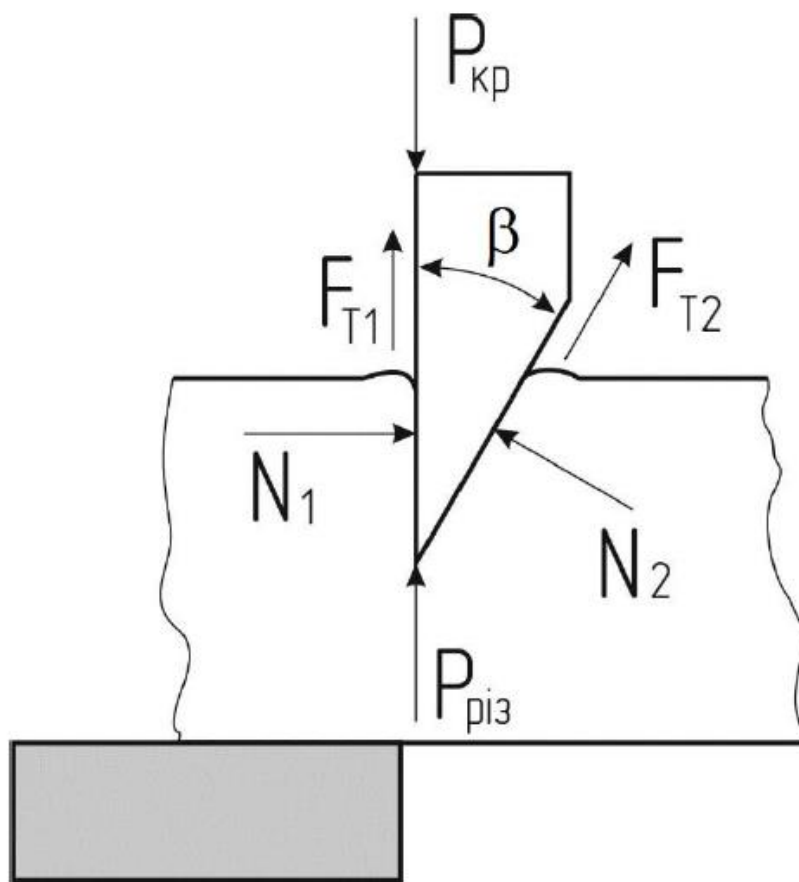


Рис. 2.3.

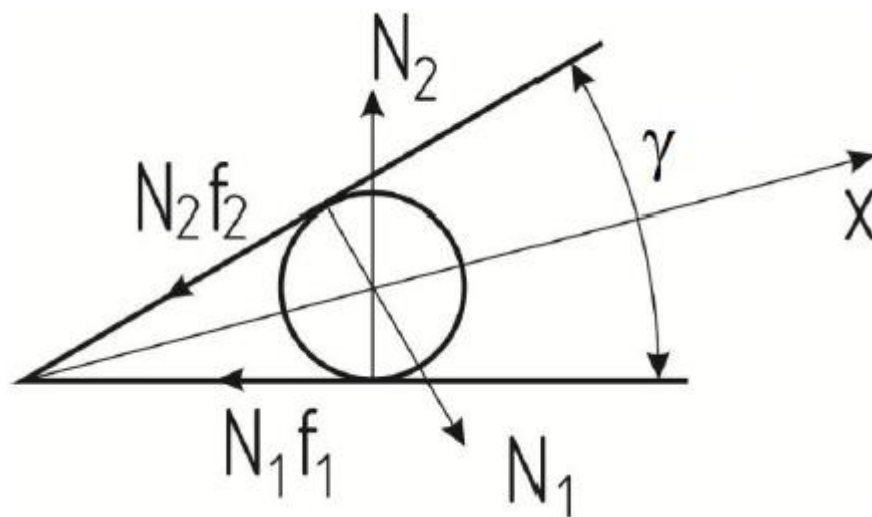


Рис. 2.4.

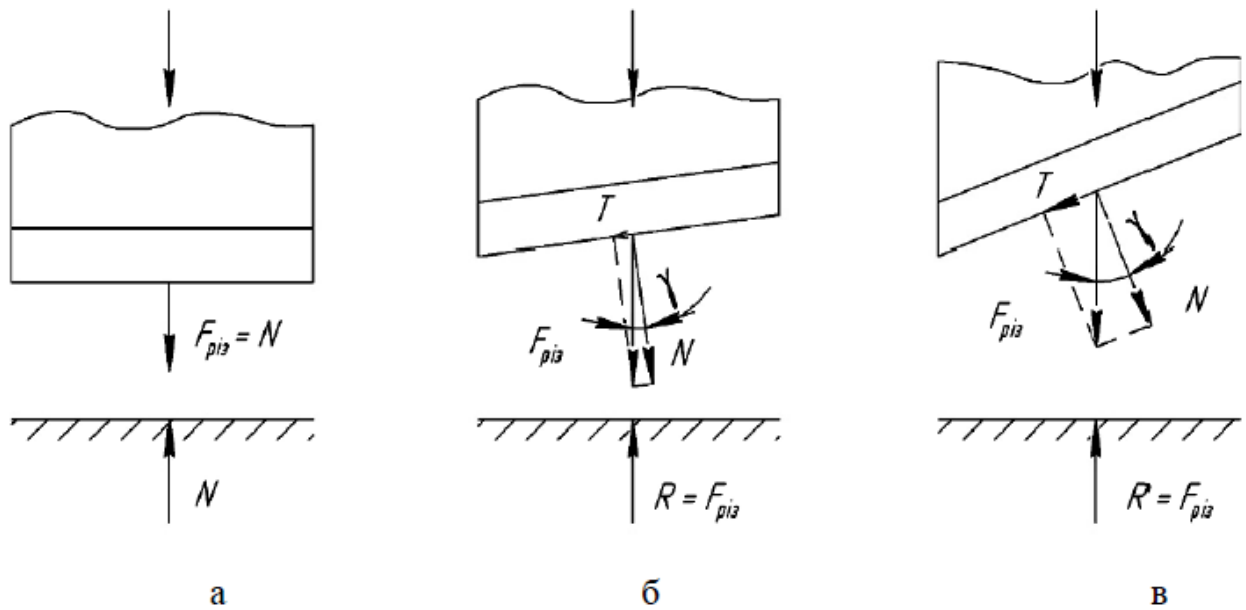


Рис. 2.5.

Геометричні параметри різальної пари ножового апарата належать до тих, що визначаються у площині різання. До них відносять кут защемлення  $\chi$  та кут нахилу леза  $\tau$ . Кут защемлення  $\chi$  — це кут між лезом ножа та протирізальною пластиною. Кут нахилу леза  $\tau$  визначають як кут між напрямком руху вибраної точки леза та перпендикуляром (нормаллю), проведеним у цій точці. За певних значень  $\tau$  цей кут називають також кутом ковзання. Величина нахилу  $\tau$  істотно впливає на характер перебігу процесу різання, тому у теорії різання лезом виділяють три його типи: нормальне, похиле (нахилене) та ковзне (рис. 2.5).

Параметр  $q$  визначається фізико-механічними властивостями матеріалу, рівнем його вологості та гостротою ножа. У процесі поступового затушення ножа значення  $q$  зростає.

## 2.2 Моделювання роботи дискового подрібнювача стеблових кормів

Беручи до уваги, що дискові подрібнювачі стеблових кормів вирізняються простішою конструкцією, меншою матеріаломісткістю та кращою придатністю для застосування в приватних господарствах, проведемо моделювання робочого органа пристрою саме цього типу.

Моделювання виконуватимемо, виходячи з динамічних характеристик робочого органу та його енергетичних параметрів. Розглянемо схему дії сил, що передаються від леза ножа на матеріал (рис. 2.6). Якщо рівнодіюча  $R$  сил опору різанню прикладена в точці «т», то для її подолання з боку ножа необхідно прикласти силу різання  $F_{різ}$ , яка за величиною дорівнює  $R$ , але має протилежний напрямок.

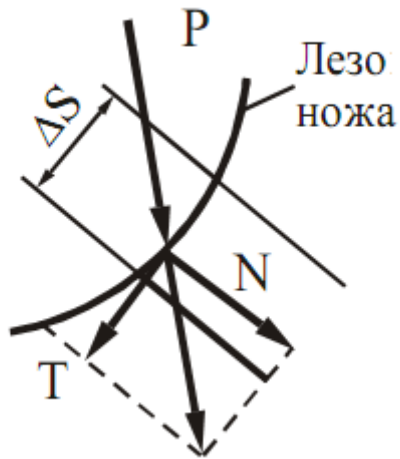


Рис. 2.6.

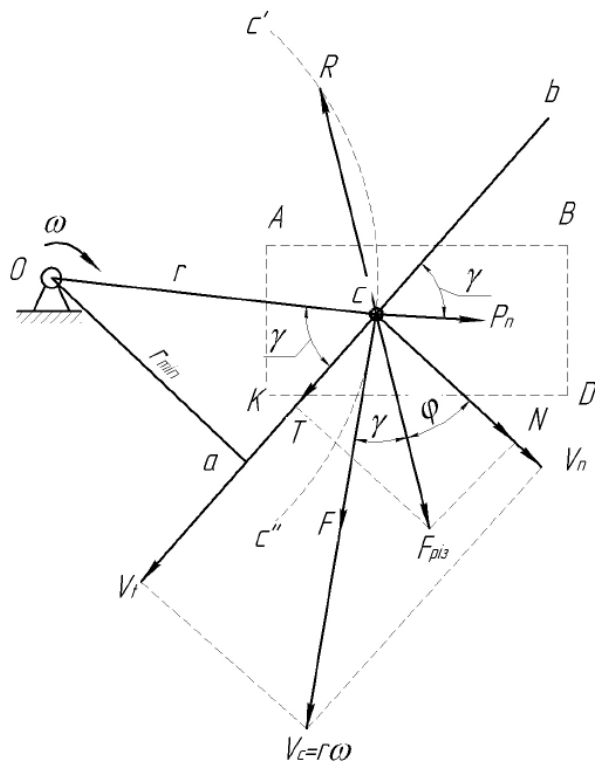


Рис. 2.7.

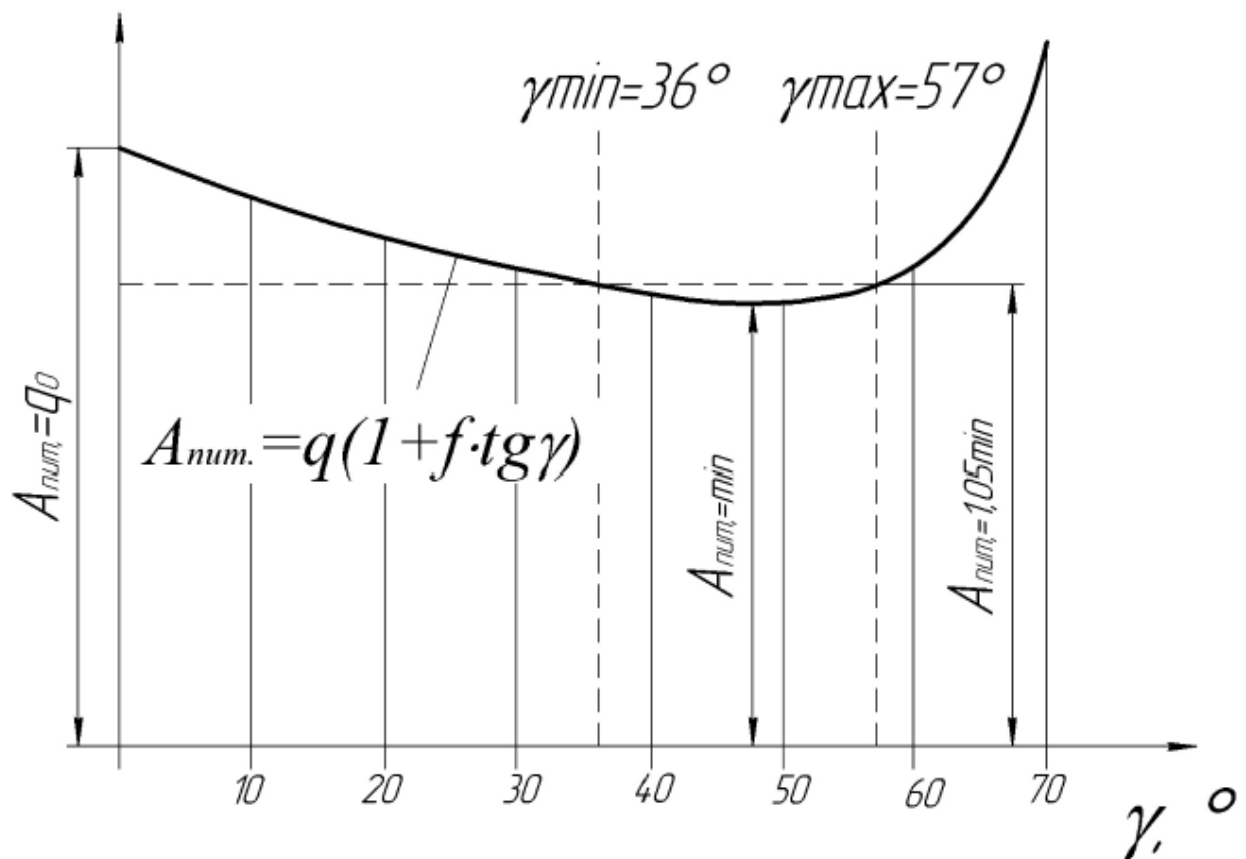


Рис. 2.8.

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

Похиłe і ковзне різання у порівнянні із нормальним, також відбувається під дією нормальної сили  $N$ , але уже із іншим кутом загострення в  $i$  (рис. 2.9). У цьому випадку спостерігається зменшення необхідного питомого зусилля, що відбувається внаслідок зменшення початкового кута загострення  $\beta$ . Вперше дане явище відкрив проф. Н.Ю. Резнік, яке одержало назву кінематична трансформація (від лат. transformation - зміна, перетворення) кута загострення, величину якого можна знайти скориставшись формулами:

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

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

$\varepsilon$  - коефіцієнт ковзання;

$V_n, V_t$  - відповідно нормальна і тангенціальна (дотична) складові швидкості різання, м/с.

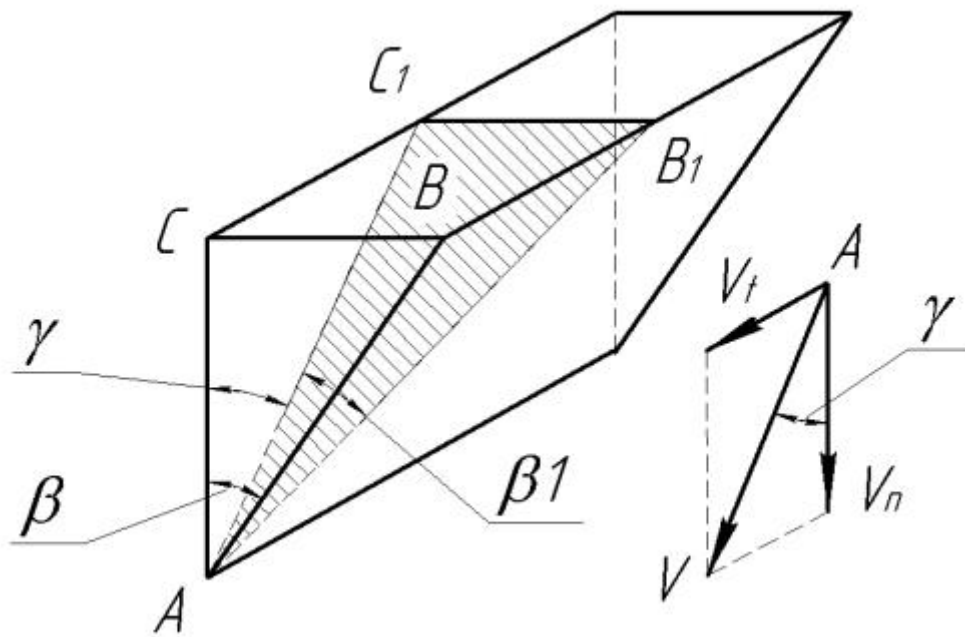


Рисунок 2.9 - Схема до визначення трансформації кута загострення ножа  $\beta_1$

## 2.4 Висновки

На основі проведених досліджень можна сформулювати такі положення:

- Найбільш раціональною щодо матеріаломісткості та енергоефективності є конструкція дискового подрібнювача стеблових кормів, оснащеного криволінійними ножами.
- Визначено, що найменші енергетичні витрати при застосуванні криволінійного леза досягаються за умови встановлення ножа під кутом  $36...57^\circ$ .
- Зниження зусилля різання забезпечується завдяки кінематичній трансформації кута загострення ножа.
- Криволінійний ніж залежно від значення коефіцієнта ковзання  $\epsilon$  має ділянки, на яких різання відбувається в режимах нормального, похилого або ковзного різання. За умови, що  $\epsilon > 1$  і кут ковзання перевищує сумарний

кут тертя по всій довжині дуги леза ( $\gamma > \varphi_1 + \varphi_2$ ), процес відбувається в режимі ковзного різання.

- – характер зміни кута загострення  $\beta_1$  залежно від кута ковзання  $\gamma$  є різним для лез із різними початковими значеннями кута  $\beta$ ;  
– збільшення кута ковзання  $\gamma$  приводить до підвищення коефіцієнта трансформації  $k$ , який визначає ступінь зменшення кута загострення внаслідок його кінематичного перетворення; ця залежність є прямо пропорційною. Для прикладу, під час різання пучка трав'яної маси при  $\gamma = 60^\circ$  кут загострення ножа зменшується майже удвічі (за  $\beta = 30^\circ$  отримаємо  $\beta_1 \approx 16^\circ$ );
- зміна кута загострення леза  $\beta_1$  (для  $\beta = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ$ ) відбувається найінтенсивніше при встановленні дискового ножа під кутом  $\Delta\theta$  у межах від  $0^\circ$  до  $15^\circ$ .

## **3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СТЕБЛОВИХ КОРМІВ**

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

Метою експериментальної частини роботи є підтвердження теоретичних положень щодо процесу подрібнення стеблових кормів, визначення оптимальних режимів роботи подрібнювача та оцінка його технічної ефективності. Для реалізації поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- встановити величину зусилля різання залежно від умов перебігу процесу;
- визначити раціональні співвідношення конструктивно-технологічних параметрів ріжучого механізму;
- встановити оптимальні робочі режими функціонування подрібнювача.

Відповідно до визначених завдань, загальна програма дослідження включає такі етапи:

1. Створення та розроблення експериментального стенду для вивчення процесу різання.
2. Проєктування і виготовлення дослідного зразка компактного подрібнювача та експериментальної установки.
3. Підготовка окремих методик для проведення лабораторних і експериментальних досліджень.
4. Виконання досліджень і здійснення аналізу отриманих результатів.

### **3.2 Обладнання, призначене для виконання експериментальних досліджень.**

Дослідження процесу різання виконували з використанням експериментальної установки, до складу якої входили: копер із вертикальними напрямними 3 (рис. 3.1), по яких під дією пружини 6 переміщувалася платформа

з тримачем для фіксації зразка 1, а також експериментальний ніж 4, закріплений на тензометричній ланці. Необхідну швидкість різання стебла забезпечували шляхом регулювання сили стискання пружини. Ножі, що досліджувалися, монтували на тензометричну ланку, яка давала змогу фіксувати зусилля різання. Швидкість руху визначалася за часом, протягом якого платформа проходила шлях уздовж напрямних.

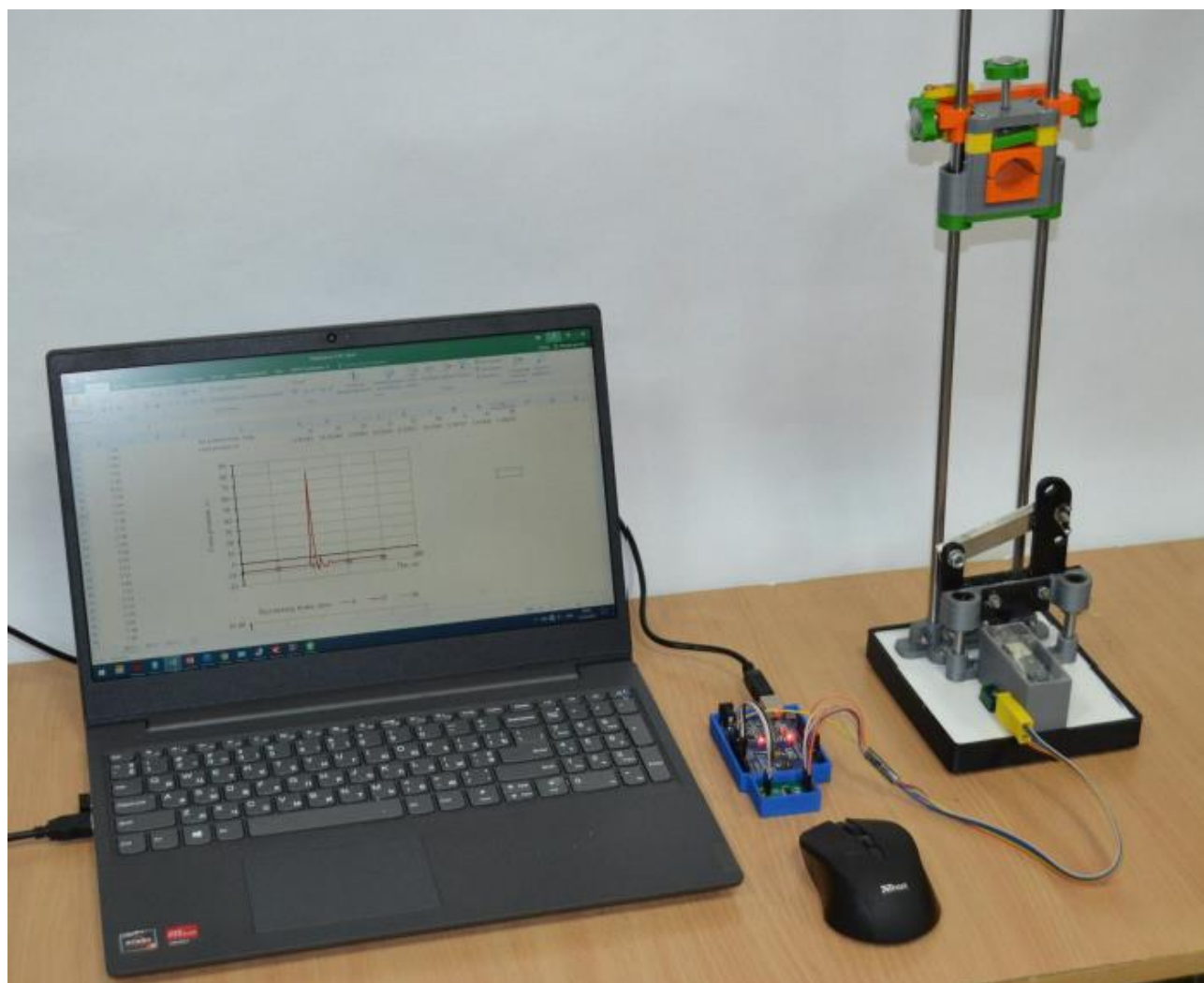


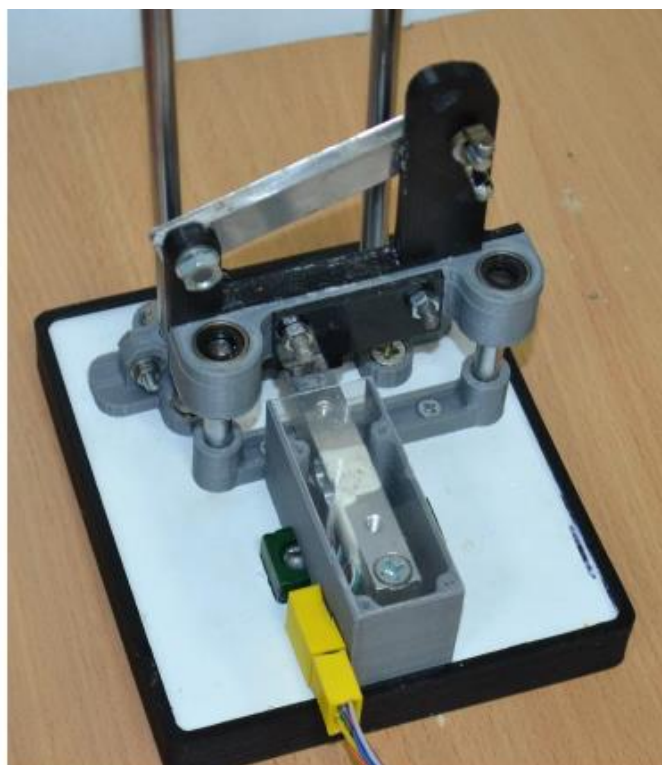
Рис. 3.1.

Роботу на копрі виконували таким чином. На тензометричну ланку закріплювали ніж із заданими параметрами та встановлювали його у положення, визначене планом експерименту. Зразок стебла фіксували в затискному пристрої на платформі так, щоб забезпечити його відрізання на потрібну довжину. Далі платформу зі зразком піднімали у верхню точку напрямних і фіксували на стисненій пружині, яка створювала необхідну швидкість різання. Після

звільнення пружини платформа під дією її сили рухалась униз. Одночасно здійснювали реєстрацію зусиль різання та часу переміщення платформи.



а



б

Рис. 3.2.

Силу тиску на ніж визначали за значенням відхилення кривої сигналу, що надходив із підсилювача та відображався на екрані ПЕОМ, від нульового рівня. Це ж відхилення фіксували й під час розвантаження тензобалки. Дані калібрування наведені у вигляді графіка на рис. 3.3.

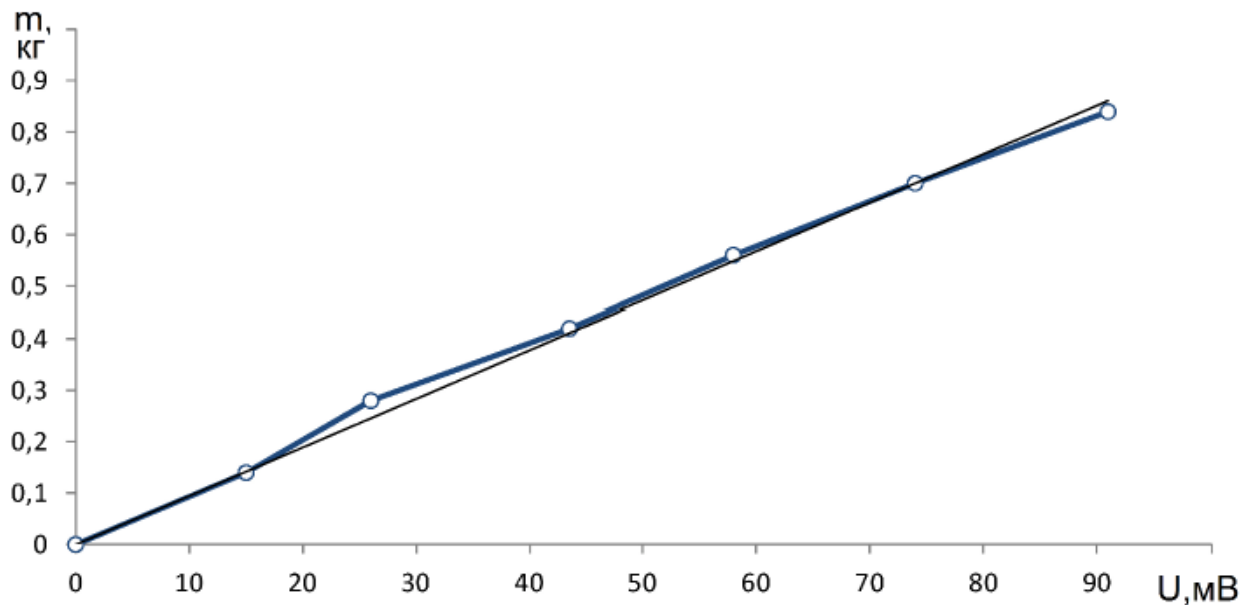


Рис. 3.3.

Швидкість різання визначалася таким чином. У верхній і нижній частинах направляючих копра були розміщені електричні контакти, які замикалися платформою при досягненні нею відповідних позицій. Після звільнення пружини платформа починала рухатися з початковою швидкістю  $V_0$ , що виникала під дією цієї пружини. Далі вона продовжувала рух вниз із прискоренням вільного падіння  $g$ . У момент відриву від верхнього контакту той розмикався, і на модуль Arduino Uno A Tmega 328P-PU надходив електричний сигнал, що запускав процес вимірювання. Коли зразок починав взаємодіяти з ножом і платформа замикала нижній контакт, на Arduino надходив інший сигнал, який зупиняв вимірювання.

У результаті в програмному середовищі «Arduino-1.8.9-windows» формувалася таблиця з двома стовпцями: час руху платформи зі зразком та значення сили на тензOMETричному датчику. Фіксувалися початковий момент часу  $t_1$  та кінцевий  $t_2$ .

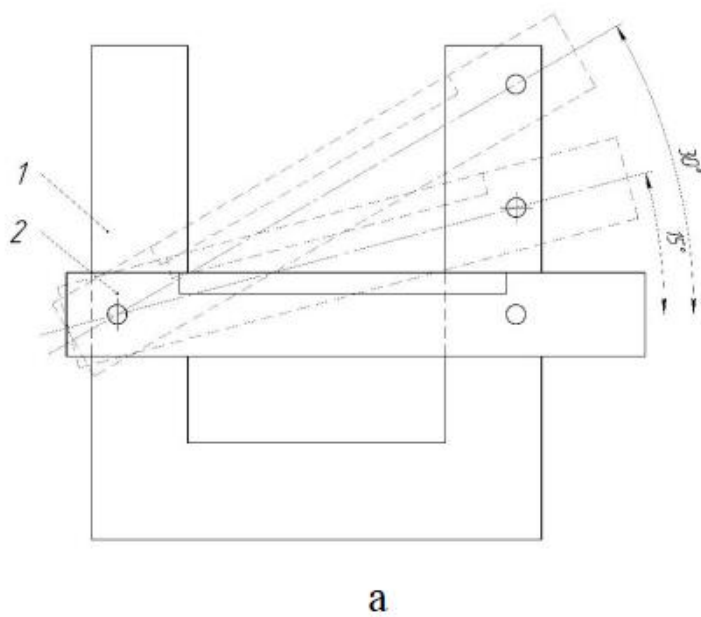


Рис. 3.4.

### 3.3 Програма та методика дослідження процесу різання

Вивчення впливу конструктивних і технологічних параметрів на величину сили різання прямим ножем здійснювали із використанням методу математичного планування багатofакторного експерименту. Під час досліджень отримували рівняння регресії другого порядку, що дозволяло кількісно оцінити характер залежностей між досліджуваними факторами та силою різання.

Факторами експерименту були визначені: кут нахилу ножа ( $x_1$ ) та швидкість різання ( $x_2$ ). Вихідним параметром, що досліджувався, виступало зусилля різання ( $y$ ).

Експеримент проводився за дробним планом другого порядку, розробленим для трьох факторів. Матрицю планування, перелік факторів і діапазони їх зміни наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця плану експерименту та інтервали варіювання факторів

Рівні факторів, матриця дослідів	Фактори	
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>
1	2	3
Верхній рівень (+)	60	12
Основний рівень (0)	30	9
Нижній рівень (-)	0	6
Інтервал варіювання факторів	30	3
План дослідів		
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0

Рівні зміни факторів були визначені на основі теоретичних досліджень конструктивно-технологічних параметрів процесу різання (розділ 2).



Рис. 3.5.

Для визначення впливу фактора  $x$  (швидкість різання) на оптимізаційний критерій  $y$  (питома енергоємність подрібнення) було проведено однофакторне дослідження. Під час експерименту швидкість різання змінювали в діапазоні 8–22 м/с із кроком 2 м/с. Регулювання швидкості здійснювали шляхом зміни частоти обертання диска подрібнювача, використовуючи частотний перетворювач. Продуктивність подрібнювача  $Q$  визначалася за часом, необхідним для подрібнення однієї навішки. Потужність приводу та тривалість процесу фіксували за допомогою частотного перетворювача з подальшим перенесенням поточних даних до персонального комп'ютера.

### 3.4 Результати експериментальних досліджень

Вивчення впливу конструктивно-технологічних параметрів на силу різання прямолінійним ножом виконували із використанням методів планування багатofакторного експерименту.

У якості факторів було обрано кут нахилу ножа ( $x_1$ ) та швидкість різання ( $x_2$ ), а показником, що оцінювався, виступало зусилля різання ( $y_1$ ).

На основі отриманих експериментальних даних була сформована математична модель, яка описує залежність сили різання стебел кукурудзи від впливу зазначених факторів.

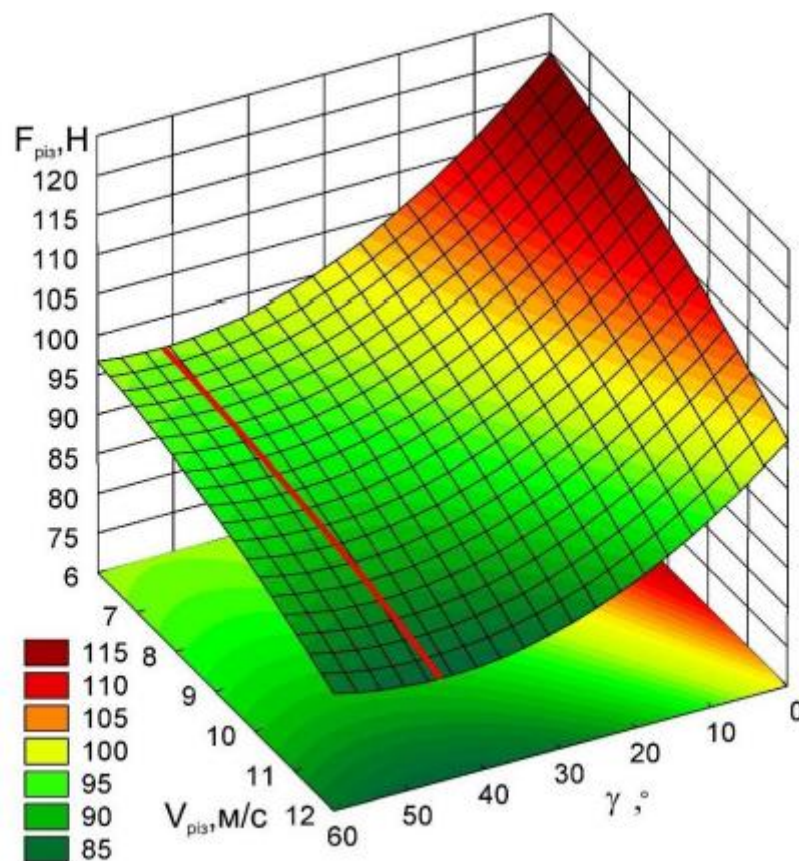


Рис. 3.6.

З рисунка видно, що оптимальний кут нахилу ножа в досліджуваному діапазоні швидкостей становить  $42...51^\circ$ . При нижчих швидкостях різання оптимальний кут більший, а зі зростанням швидкості — зменшується. Це пояснюється тим, що зі збільшенням швидкості роль кута заточування у процесі

різання знижується. За високих швидкостей, окрім статичних умов руйнування матеріалу, істотного значення набувають динамічні фактори, зокрема часткове ковзання стебла по ножу, яке сприяє розриву.

Графічне відображення попарних взаємодій моделі за зафіксованих оптимальних параметрів наведено на рисунку 3.7. Аналіз впливу кута нахилу ножа показує, що зі зростанням швидкості різання до максимальних значень мінімальне зусилля різання зміщується в область менших кутів нахилу. За таких умов оптимальний діапазон кута нахилу ножа для розглянутих швидкостей становить 38...47°.

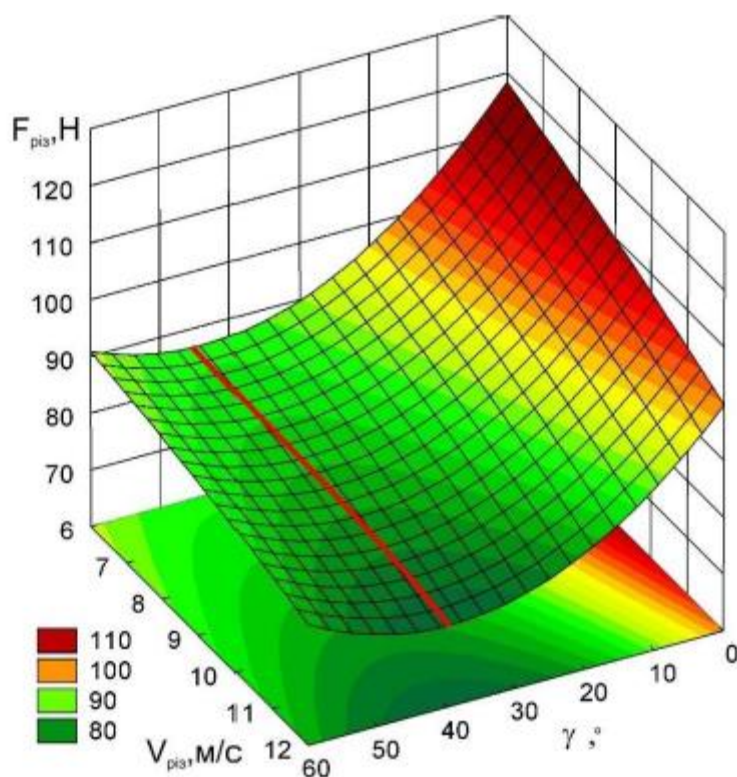


Рис. 3.7.

За підсумками проведених експериментів встановлено, що для обох варіантів конструкції ножа залежність між кутом його нахилу та зусиллям різання має нелінійний характер і характеризується чітко визначеним оптимумом. Щодо швидкості різання, то, як і передбачалося, зі зростанням швидкості необхідне зусилля зменшується, при цьому оптимальне значення швидкості виходить за межі досліджуваного інтервалу.

У ході експериментів із малогабаритним подрібнювачем стеблових кормів отримано рівняння регресії (коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,916$ ), яке описує залежність питомої енергоємності процесу подрібнення стебел кукурудзи від швидкості різання при використанні прямого ножа.

Графічне відображення отриманого рівняння наведено на рис. 3.8. За підсумками проведених експериментів із малогабаритним подрібнювачем стеблових кормів було отримано рівняння регресії (коефіцієнт достовірності апроксимації  $R^2 = 0,978$ ), яке характеризує залежність питомої енергоємності подрібнення стебел кукурудзи цим експериментальним подрібнювачем від швидкості різання при використанні криволінійного ножа.

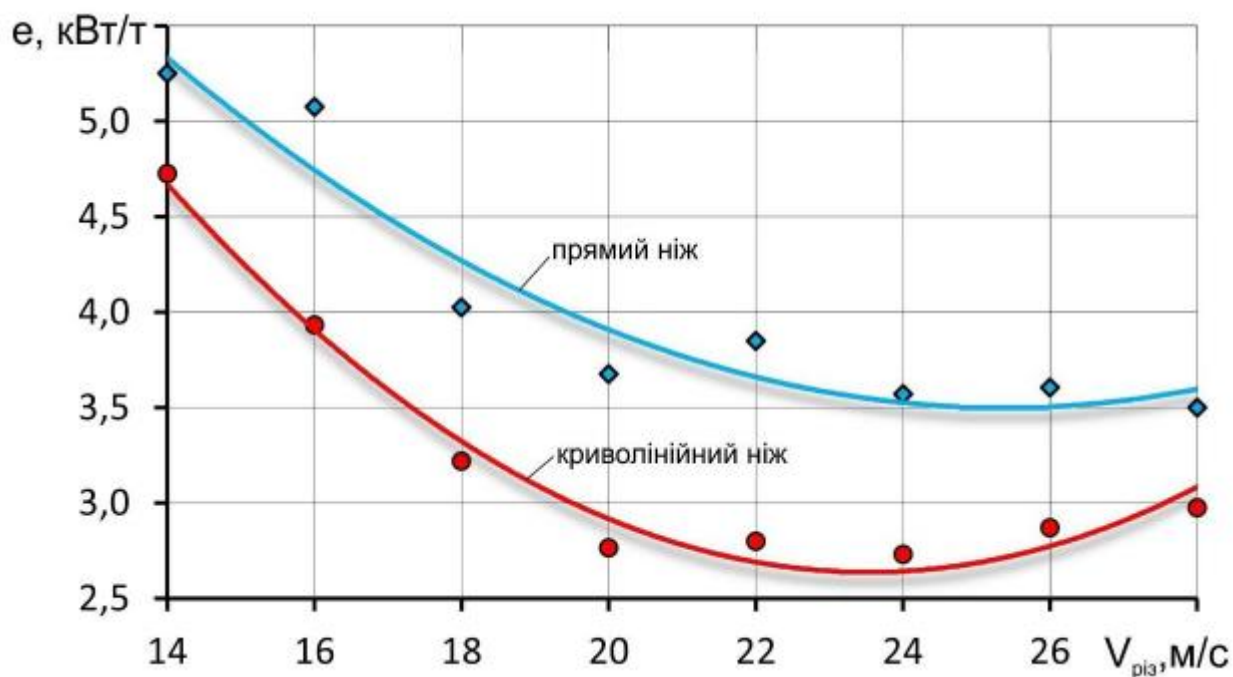


Рис. 3.8.

### 3.5 Висновки

За підсумками лабораторних та експериментальних досліджень процесу подрібнення стеблових кормів встановлено таке:

- Для прямого ножа сила різання змінюється майже лінійно зі збільшенням швидкості різання, а залежність від кута нахилу має чітко виражений оптимум у межах  $42...51^\circ$ .

- Для криволінійного ножа характер зміни сили різання подібний до прямого ножа, проте мінімальне зусилля 76 Н досягається за кута нахилу  $38,2^\circ$ .
- Результати дослідження експериментального подрібнювача стеблових кормів засвідчили, що за певних умов найменша питома енергоємність  $e_n = 3,5$  кВт·год/т при використанні прямого ножа забезпечується за швидкості різання 25,2 м/с (або  $1350$  хв<sup>-1</sup>). Для криволінійного ножа мінімальна енергоємність  $e_k = 2,6$  кВт·год/т досягається за швидкості 23,5 м/с, тобто  $1250$  хв<sup>-1</sup>.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Основні поняття та визначення

Відповідно до Закону України «Про охорону праці», охорона праці розглядається як комплекс правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на забезпечення збереження життя, здоров'я та працездатності працівника в процесі його трудової діяльності.

Нормативну базу з охорони праці формують зазначений Закон, Кодекс законів про працю України, Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, що спричинили втрату працездатності», а також нормативно-правові акти, розроблені на їх основі.

**Об'єкт підвищеної небезпеки** — це об'єкт, на якому здійснюється використання, виробництво, переробка, зберігання або транспортування однієї чи кількох небезпечних речовин або їх категорій у кількостях, що дорівнюють або перевищують установлені нормативні порогові значення. До таких також належать інші об'єкти, які згідно із законодавством становлять реальну загрозу виникнення надзвичайної ситуації техногенного чи природного походження.

Експлуатація подрібнювача, розробленого в межах дипломної роботи, може стати причиною пожежі, яку відносять до надзвичайних ситуацій техногенного характеру. **Пожежа** визначається як неконтрольоване горіння поза спеціально призначеним осередком, що поширюється у просторі та часі, становить небезпеку для життя і здоров'я людей, довкілля та спричиняє матеріальні збитки.

## **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 охорони 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».

«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].

Гранична концентрація пилу, що містить до 10 % вільної SiO<sub>2</sub>, дорівнює 4 мг/м<sup>3</sup>».

У свіжому повітрі, що надходить до приміщення кормоприготувального відділення, «зовсім немає вказаного пилу (P0 = 0).

#### **4.4 Правила безпеки під час виконання робіт з подрібнення стеблових кормів**

Наведені нижче вимоги визначають порядок безпечної роботи з устаткуванням для подрібнення стеблових кормів і спрямовані на запобігання травмуванню працівників, аваріям та іншим небезпечним ситуаціям під час експлуатації подрібнювача.

Персонал, який експлуатує та обслуговує машину, повинен: дотримуватися вимог інструкції з експлуатації та цих правил, а також норм санітарії, техніки безпеки й електробезпеки під час роботи з електроустановками;

виконувати лише ті завдання, які доручені безпосереднім керівником, оскільки забороняється приймати вказівки, що суперечать правилам безпеки; користуватися спеціальним одягом і засобами індивідуального захисту відповідно до характеру робіт; підтримувати робоче місце у належному порядку, вчасно прибирати розсипані матеріали та сторонні предмети з підлоги; дотримуватися норм щодо підіймання і переміщення вантажів вручну — для жінок разове піднімання не більше 10 кг, а зусилля протягом зміни не більше 7 кг; для чоловіків — не більше 30 кг, а для вантажників — до 50 кг. У разі порушення цієї інструкції працівник може бути притягнутий до дисциплінарної, адміністративної чи матеріальної відповідальності.

Перед початком зміни необхідно одягнути справний, чистий спецодяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту. Волосся слід прибрати під головний убір. Одяг має бути повністю застібнутий і не повинен мати вільних або звисаючих частин.

Необхідно переконатися, що робоче місце забезпечене всім потрібним обладнанням, інструментами, інвентарем і пристроями. Підготувати робочу зону до безпечної роботи:

- забезпечити наявність вільних проходів;
- перевірити стійкість підставок під обладнання та сировину;
- розмістити запаси сировини зручно та надійно.

Провести зовнішній огляд, зокрема перевірити:

- достатність освітлення робочої ділянки;
- відсутність оголених або звисаючих електропроводів;
- справність та надійність заземлення (наявність цілісного проводу, надійність контакту між корпусом обладнання і заземлювальним проводом). При відсутності або несправності заземлення розпочинати роботу заборонено;
- цілісність огорожень рухомих механізмів і міцність їх кріплення;
- відсутність сторонніх предметів у середині та навколо обладнання.

**Вимоги безпеки під час виконання роботи.**

Під час роботи необхідно користуватися справними засобами та приладдям,

призначеними для безпечної експлуатації обладнання: інструментом, пристроями, спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Перед початком роботи слід увімкнути машину на холостому ході й переконатися у відсутності заїдань, стороннього шуму та правильному напрямку обертання ножа. Завантаження сировини потрібно здійснювати рівномірно, через приймальний пристрій і лише тоді, коли електродвигун працює. Продукти для подрібнення слід подавати поступово, використовуючи спеціальні штовхачі. Під час завантаження необхідно запобігати потраплянню у робочу камеру сторонніх предметів.

#### **Забороняється:**

- залишати працююче обладнання без нагляду;
- виконувати заміну ножів при увімкненому приводі;
- користуватися пальцями або сторонніми предметами для подачі матеріалу до ножів;
- видаляти подрібнені продукти з горловини машини руками чи будь-якими предметами при працюючому приводі;
- допускати до роботи людей, які не мають відповідних повноважень;
- залишати машину увімкненою у разі зникнення електропостачання або під час перерви в роботі.

#### **Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.**

У разі виникнення аварійної чи надзвичайної ситуації, а також за наявності загрози для здоров'я, необхідно негайно вимкнути машину від електромережі. Якщо на корпусі обладнання або на кожусі пускорегулювальної апаратури з'являється напруга, виникають сторонні звуки, відчувається запах горілої ізоляції, відбувається аварія, раптова зупинка або некоректна робота механізмів, слід негайно зупинити пристрій натисканням кнопки «Стоп» і від'єднати його від живлення. Після цього потрібно повідомити керівника і не вмикати обладнання до повного усунення несправності.

У разі погіршення самопочуття робітник повинен припинити роботу, перевести робоче місце у безпечний стан та повідомити керівництво. Якщо стався нещасний випадок, необхідно зупинити виконання робіт, надати

потерпілому першу медичну допомогу та зберегти обстановку на місці події до прибуття комісії, за умови, що це не загрожує іншим працівникам і не спричинить нову аварійну ситуацію.

#### **Вимоги безпеки після завершення роботи.**

Після закінчення робочого процесу слід вимкнути машину, очистити її від залишків продуктів та провести санітарну обробку. Знімні робочі елементи (ножі тощо) потрібно очищати обережно, промити, висушити та зберігати у місці, недоступному стороннім особам. Пластикові деталі слід сушити при температурі не вище 50 °С. Для очищення обладнання рекомендується використовувати м'які щітки; застосування металевих щіток заборонене.

Після цього необхідно зняти спеціальний та санітарний одяг. Санітарний одяг слід зберігати відкритим способом, а спецодяг — у закритій шафі; змішане зберігання робочого, санітарного і домашнього одягу забороняється. Завершальним етапом є миття рук і обличчя теплою водою з милом або прийняття душу. Якщо у процесі роботи використовувалися мийні розчини, руки спочатку потрібно ретельно промити під проточною теплою водою.

#### **4.5 Порядок дій у разі надзвичайних ситуацій**

У випадку виникнення надзвичайної ситуації необхідно діяти чітко, своєчасно та відповідно до встановлених правил. Передусім слід зберігати спокій, оцінити обстановку та визначити джерело небезпеки. Далі потрібно негайно повідомити керівництво або відповідальних осіб про подію та виконувати інструкції щодо подальших дій.

За потреби організовується евакуація персоналу в безпечне місце згідно з планом евакуації. При наявності постраждалих необхідно надати першу долікарську допомогу та викликати екстрені служби. Після ліквідації небезпеки слід уникати самовільного повернення на робоче місце до отримання дозволу відповідальних фахівців.

Як зазначалося раніше, найбільш імовірною надзвичайною ситуацією на фермі є виникнення пожежі. Тому наведемо обов'язки та порядок дій працівників у разі загоряння на фермі великої рогатої худоби. При виявленні пожежі або її ознак (диму, запаху гару, підвищеної температури тощо) кожен працівник повинен:

- негайно припинити роботу та зателефонувати до пожежної служби за номером 101, повідомивши адресу ферми, місце загоряння, своє прізвище, ім'я, по батькові та номер телефону;
- вжити можливих заходів для евакуації людей, тварин та матеріальних цінностей;
- відключити від електроживлення обладнання, за яке він відповідає;
- розпочати гасіння пожежі доступними первинними засобами пожежогасіння;
- проінформувати свого безпосереднього керівника та попередити інших працівників;
- у разі подання загального сигналу тривоги — залишити приміщення.

Керівник структурного підрозділу, який дізнався про пожежу, зобов'язаний:

- викликати пожежну охорону;
- негайно повідомити підлеглих та інших співробітників;
- поінформувати відповідальну за пожежну безпеку особу;
- організувати допомогу у гасінні пожежі та забезпечити евакуацію людей, тварин і матеріальних цінностей.

#### **4.6 Висновки**

На основі чинних нормативних документів та відповідно до вимог охорони праці було проведено аналіз розробленого подрібнювача стеблових кормів і визначено перелік шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на оператора під час його експлуатації. З метою їх запобігання розроблено необхідні заходи та сформульовано вимоги щодо безпечного виконання робіт. Встановлено,

що найімовірнішою надзвичайною ситуацією на об'єкті є пожежа, тому наведено послідовність дій оператора у разі її виникнення.

## 5 ЕКОНОМІЧНА РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СПРОЄКТОВАНОГО ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВИХ КОРМІВ

Для оцінювання економічної результативності застосування подрібнювача стеблових кормів, оснащеного розробленим подрібнювальним апаратом, здійсимо визначення та порівняння витрат на виконання відповідної операції між наявною машиною ПРР-1М та запропонованою конструкцією.

Оскільки основними перевагами нового подрібнювача є підвищена продуктивність і знижена потужність приводу, тобто переваги мають технічний характер, порівняння проводитиметься за експлуатаційними витратами, без урахування якісних характеристик отриманого корму, оскільки вони є практично однаковими.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності змішувача

№ з.п.	Показник	ПРР-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
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

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 з-силля 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. 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. 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 пресовано-му 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.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7 «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. – 52 с.
2. Поєдинок В., Яроцький В., Шумський М. Як заготовити якісне сіно // Техніка АПК. – 1995. – №2. – С. 12-13.
3. Брагинець М.В. Дослідження фізико-механічних властивостей кормів // Вісник сільськогосподарської науки. – 1984. – № 1. – С. 31-34.
4. Halyk R., Hurlbut L. Tensile and shear strength characteristics of alfalfa stems // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1968. – № 11. – p. 256-257.
5. 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.
1970. Ahlgrimm H. Der einfluss der Feuchte auf das Biegeverhalten von halmgut bei zug-, scherund beigebeanspruchung // LandForsch-Volkenrode. – № 8. – s. 8-31.
6. McRandal D., McNulty P. Mechanical and physical properties of grasses // Trans. am. soc. agric. engrs. – 1980. – № 4. – p. 816-821.
7. Ялпачик Ф.Е., Ялпачик Г.С., Крижачківський Н.Л., Кюрчев В.Н. Кормодробарки: конструкція, розрахунок. Запоріжжя: Видавництво «Промінь», 1992. – 292 с.
8. Нова сільськогосподарська техніка / В.А. Ясенецький, В.С. Куліш, Н.П. Мечта та ін., за ред. В.А. Ясенецького – К.: Урожай, 2011. – 320 с.
9. Патент 8459 України МКИ А 01 F 29/00 Подрібнювач / Братішко В.В.; Заявл. 22.11.2004; Опубл. Бюл. № 8, 2005 р.
10. Патент 18732 України МКИ А 01 F 29/00 Подрібнювач кормів / Братішко В.В.; Заявл. 30.05.2006; Опубл. Бюл. № 11, 2006 р.
11. Братішко В.В. Шляхи зменшення енергоємності різання зелених рослин // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип. 28. – Мелітополь: ТДАТА. – 2005. – С. 191-197.

12. Хмельовський В.С. Інтенсифікація технологічного процесу подрібнення-змішування кормів: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Київ, 2000. – 20 с.
13. Коруняк П.С. обґрунтування схем і параметрів устаткування ударного подрібнення зерна. Автореф. дис.канд. техн. наук. – Львів, 2000. – 20 с.
14. Беспалов Р.І. Підвищення ефективності процесу подрібнення кормів: Дисертація ... канд. техн. наук. – Одеса, 2005. – 160 с.
15. Охорона праці / За ред. Грянніка Г.М. // К.: Урожай, 1994. – 203 с.
16. ДСТУ 4397 : 2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.
17. Gieroba J., Niedziolka I. Analiza jakosci rozdrabniania lodyg kukurydzy zbieranej na ziarno //Problemy inzynierii rolnniczej. – № 3 (5). – Р. 9-22.
18. Закон України "Про охорону праці"
19. ДСТУ 12.0.003-2004 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.
20. 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.
21. Навчальний посібник з охорони праці / Дніпропетр. держ. агр. ун -т. – Дніпропетровськ, 2009 р. – 132 с.
22. 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.
23. Захарченко М.В., Орлов М.В., Голубев А.К. та ін. Безпека життєдіяльності у повсякденних умовах виробництва, побуту та у надзвичайних ситуаціях: Навчальний посібник. – К.: ІЗМИ, 1996. – 196 с.
24. Хижняк М.І., Нагорна А.М. Здоров'я людини та екологія. – К.: Здоров'я, 1995. – 232 с.
25. Яким Р.С. Безпека життєдіяльності людини. Навчальний посібник. Львів.: Бескід Біт, 2005. – 304 с.