

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу подрібнення грубих стеблових кормів з обґрунтуванням параметрів механізму подрібнення»

Виконав: студент 2 курсу, групи ОСВм-22
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
за освітньо-професійною
програмою «Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»

Клец Н.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кірчук Р.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Тарасюк В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>133 Галузеве машинобудування</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ В.В. Сацюк
«10» січня 2023 р..

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Клецу Назару Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу подрібнення грубих стеблових кормів з обґрунтуванням параметрів механізму подрібнення

керівник роботи Кірчук Руслан Васильович, професор, к.т.н.

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

затверджені наказом Луцького НТУ від «10» січня 2023 р. № 11/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основна частина.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Аналіз конструкції подрібнювальних апаратів	1 лист
3. Теоретичні положення	1 лист
4. Програма і методика експериментальних досліджень	1 лист
5. Результати експериментальних досліджень	1 лист
6. Результати досліджень з використання математичного методу планування експерименту	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2.	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3.	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4.	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5.	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6.	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7.	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8.	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9.	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10.	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Клець Н.С.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кірчук Р.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПШ

_____ (підпис)

Тарасюк В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній магістерській роботі на тему: «Дослідження процесу подрібнення грубих стеблових кормів з обґрунтуванням параметрів механізму подрібнення» представлено вирішення науково-прикладної задачі приготування грубих стеблових кормів для галузі тваринництва, що використовуються у кормовиробництві.

Сферою застосування даного дослідження може бути кормовиробництво у тваринництві. Застосування запропонованої технології дозволить більш ефективно використовувати обладнання для формування кормів у тваринництві, зокрема їх подрібнення.

Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 17 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 73 сторінках, містить 28 рисунків і фотографій, 11 таблиць.

ABSTRACT

The qualifying master's thesis on the topic: "Investigation of the process of grinding coarse stem fodder with justification of the parameters of the grinding mechanism" presents a solution to the scientific and applied problem of preparation of coarse stem fodder for the livestock industry, which are used in fodder production.

The field of application of this research can be fodder production in animal husbandry. The application of the proposed technology will allow more efficient use of equipment for the formation of fodder in animal husbandry, in particular, their grinding.

The qualifying master's thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of used sources from 17 titles and 2 appendices. The main part is laid out on 73 pages, contains 28 drawings and photos, 11 tables.

ВСТУП

Розв'язання задачі продовольчої безпеки можливе лише за наявності добре розвиненої галузі тваринництва, що потребує постійного вдосконалення технічних засобів та підвищення їх рівня ефективності.

Найважливішим напрямом тваринництва є скотарство, зокрема, вирощування великої рогатої худоби (ВРХ) та дрібної рогатої худоби (МРС). Ефективне скотарство неможливе без застосування сучасних засобів механізації виробництва, у тому числі кормовиробництва.

Основними компонентами кормових сумішей для ВРХ є грубі стебельчасті корми, перетравлюваність яких значною мірою залежить від якості підготовки до згодовування. У процесі підготовки до згодовування важливе місце займає подрібнення, оскільки саме подрібнення є найбільш енергоємною операцією.

Актуальність дослідження. Для подрібнення грубих кормів промисловість випускає різні машини та кормопідготовчі агрегати. Однак більшість із них не забезпечує регламентованої зоотехнічними вимогами ступеня подрібнення, і має дуже велику енергоємність процесу, а машини матеріаломісткі та габаритні. Крім того, багато подрібнювачів незручні в експлуатації та недостатньо надійні.

Низька універсальність більшості існуючих подрібнювачів не дозволяє широко використовувати їх при подрібненні різноманітних грубих кормів, багато з яких мають міцний стебель (наприклад, кукурудза, цукрове сорго, сорго-гібрид і т.д.). Істотним недоліком подрібнювачів є висока вартість, що унеможливує використання цілого ряду машин в особистих підсобних та фермерських господарствах. Тому розробка подрібнювача, який би за продуктивністю, енергоємністю процесу та якості роботи підходив би для ферм з різним поголів'ям дуже актуальним завданням, що вимагає наукового підходу та ретельного обґрунтування.

Мета роботи є підвищення ефективності процесу подрібнення грубих стеблових кормів шляхом розробки конструкції та обґрунтування основних

параметрів подрібнювача, робочий орган якого одночасно забезпечує ударний вплив на стебла та їх різання ковзанням шарнірно підвішеними комбінованими ножами.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- на підставі аналізу існуючої теорії подрібнення та вивчення конструктивно-технологічних параметрів сучасних подрібнювачів виявити основні шляхи вдосконалення технологічного процесу подрібнення грубих стеблинних кормів, визначити найбільш перспективну конструкцію подрібнювача та напрямки її розвитку;
- запропонувати конструктивно-технологічну схему ефективного подрібнювача та розробити нові математичні моделі для визначення продуктивності та витрат потужності на подрібнення, що враховують ефект розщеплення відсічених частинок стебла на частини при одночасному ударному впливі на стебла та їх ковзному різанні шарнірно підвішеними комбінованими ножами;
- провести експериментальні дослідження та виявити найбільш раціональні конструктивно-технологічні параметри подрібнювача та режими його.

Об'єкт дослідження - технологічний процес подрібнення грубих стебелових кормів подрібнювачем, робочий орган якого одночасно забезпечує ударний вплив на стебла та їх різання ковзанням комбінованими ножами.

Предмет дослідження – закономірності ковзного різання грубих стебелових кормів.

Методи та способи вирішення задачі. Теоретичні дослідження засновані на системному аналізі взаємодії робочих органів подрібнювача та шару грубих стеблинних кормів. Використовувалася загальна теорія різання та основні положення математичного аналізу та теоретична механіка. Експериментальні дослідження проводилися в відповідно до самостійно розроблених та відомих методик у лабораторних умовах з використанням сучасних методів та обладнання для реєстрації отриманих даних, а також методів планування одно- та багатofакторного експерименту та статистичної обробки результатів дослідження на персональному комп'ютері.

Наукова новизна одержаних результатів.

– обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри подрібнювача грубих стеблинних кормів, робочий орган якого одночасно забезпечує ударний вплив на стебла та їх ковзне різання шарнірно підвішеними комбінованими ножами, з урахуванням енергетичних та якісних показників технологічного процесу подрібнення;

– встановлені залежності для визначення продуктивності подрібнювача грубих стеблинних кормів, враховують ефект розщеплення осіданих частинок стебла на шматки при подрібненні;

– запропоновано методика встановлення параметрів робочих органів подрібнювача грубих стебельчастих кормів.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значимість роботи полягає у розробці ефективного подрібнювача грубих стеблинних кормів, робочий орган якого одночасно забезпечує ударний вплив на стебла та їх ковзне різання шарнірно підвішеними комбінованими ножами. Також значимим результатом є обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача грубих стеблинних кормів.

Апробація роботи. Основні положення виконаних досліджень обговорювались на III студентській конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні» факультету аграрних технологій та екології Луцького національного технічного університету (2023р.).

Структура й обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 17 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 73 сторінках, містить 28 рисунків, 11 таблиць.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Вимоги до грубих стеблових кормів

Нові подрібнювачі грубих та стеблових кормів конструктивно повинні відповідати системі стандартів безпеки праці. До грубих кормів відносять: сіно, солому та м'якіну. Вони відрізняються високим вмістом клітковини (від 19 до 45%) [1].

Сіно готують з природних та сіяних трав, а також з травосумішей. Воно є одним із основних кормів для великого рогатого худоби, овець та коней у стійловий період. Високоякісне сіно є джерелом протеїну, клітковини, цукрів, мінеральних речовин, вітаміну Д, вітамінів групи В та каротину [2-5]. Гарна якість сіна забезпечується при просушуванні трав у полі до вологості 30-35% з подальшим пресуванням його в тюки та досушуванням методом активного вентилявання [1, 2, 5, 6, 13]. На якість сіна впливають ботанічний склад трав, фаза їх вегетації при скошуванні, спосіб збирання та зберігання. Зміст вологи у сіні має бути понад 17% [8, 11]. У залежності від ботанічного складу та умов виростання сіно поділяється на такі види: сіяне бобове; сіяне злакове; сіяне бобово-злакове; природних кормових угідь (злакові, бобові та ін.) [8].

Поживність соломи залежить від виду та сорту рослин, часу та способів збирання та інших факторів. Більш кращою в годуванні тварин є солома зернобобових та ярих злакових культур. Озима солома (житня та пшенична) має нижчу поживність через великий вміст клітковини (від 36 до 42%) [9, 10]. Солома містить 3-4% протеїну, 1-2% жиру, 4-6% мінеральних солей, 1-3 мг/кг каротину; у ній мало кальцію, фосфору, натрію [9].

Перетравність поживних речовин соломи у жуйних тварин - 40-50%, у коней - 20-30% [58]. Соломою частково замінюють сіно та згодовують її у поєднанні з силосом та іншими соковитими кормами [5].

Соковиті та грубі корми об'єднують у групу об'ємних кормів. Незважаючи на їхню невисоку поживність, на відміну від концентратів об'ємні корми найбільш повно забезпечують потреби жуйних тварин у повноцінному харчуванні [5,8].

До грубих стеблових кормів відносять сухі стебла кукурудзи, сорго. і т.д. У раціоні тварин у зимовий період корми цих видів можуть становити 25-30% [2, 3, 12]. Підготовка грубих стеблових кормів до згодовування полягає у подрібненні, що підвищує поїдання та покращує технологічні властивості. Подрібнення – найбільш простий спосіб підготовки грубих стеблових кормів до згодовування.

Воно сприяє підвищенню поїдання кормів та полегшує роботу органів травлення тварин. Подрібнюють дані корму у спеціальних подрібнювачах до наступних розмірів [12] (табл. 1.1):

Таблиця 1.1 - Розмір частинок подрібнених грубих стеблових кормів

Вид корму	Розмір частинок подрібненого корму, мм	
	КРС	МРС
Сіно, солома	30-50	20-30
Зелені стебла кукурудзи	30-50	10-20

Як грубий корм використовують стрижні кукурудзяних качанів, які містять 0,35-0,37 кормових од. і 13-15 р. перетравного протеїну в 1 кг корму [5, 6, 10, 12]. Використовують стрижні кукурудзяних качанів у як грубий корм при годівлі та відгодівлі ВРХ. Їх згодовують у розмеленому вигляді у суміші з іншими кормами, а також у склад гранульованих або брикетованих кормів. Розміри частинок при цьому мають відповідати розмірам, поданим у табл. 1.1.

Подрібнювачі повинні ефективно подрібнювати як сіно та солону, так і сухі стебла таких рослин, як кукурудза, сорго і т.д.

Важливим є підвищення рівня уніфікації машин, скорочення їх, розробка та виробництво універсальних подрібнювачів, здатних однаково ефективно

подрібнювати різні види грубих стеблових кормів, що значно відрізняються за механіко-технологічними властивостями.

Розробка нових високоефективних подрібнювачів грубих стеблових кормів потребує знань про механіко-технологічні властивості подрібнюваного матеріалу.

1.2. Аналіз механіко-технологічних властивостей грубих 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 великого ступеня залежить від таких властивостей: структури та вологості корму, 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 табл.1.2 та 1.3 [3, 12, 16].

Таблиця 1.2 - Механіко-технологічні властивості грубих стеблових кормів

Вид корму	Вологість,%	Густина, кг/м ³	Кут природного укосу, град.
Сіно (розсипне)	15-17	60-85	50-60
Солома (розсипна)	15-17	45-50	
Сіно, солома (пресоване)	12-17	250-290	
Солом'яна січка (розсипна)	12-16	30-50	
Зелена свіжоскошена маса: жито овес	73-77	280-350	47-49

кукурудза	78-80 7	280-330	50-55
	8-08	300-350	53-55
Кукурудзяний силос (розсипний)	72-80	600-750	45-53
Трав'яний сінаж (розсипний)	50-55	300-350	45-55

Таблиця 1.3 - Фракційний склад подрібненої соломи

Марка подрібню вача	Волог ість солом и	Кількість частинок, %, розмірів					Поздов жнє дробле ння стебел, %
		до 10 мм	до 30 мм	до 50 мм	до100 мм	1 00 і більш. мм	
Подрібнювач ІСП-3,5А	10,0	1 0,6	1 2,2	1 2,6	29,0	3 5,6	61,0
Подрібнювач ІГК-30Б	13,1	1 8,7	4 4,7	2 3,4	8,4	4, 8	90,0
Соломорізка РСС-6Б	10,0	1 5,2	4 1,3	2 6,2	13,0	5, 3	70,0
Дробарка ІРТ-10	16,1	3 1,9	4 6,8	1 0,5	7,8	3, 0	92,0
Дробарка ДК-4	14,0	2 6,5	5 5,0	1 1,0	5,5	2, 0	94,0
Дробарка ДК-1	13,4	2 3,0	3 8,0	2 4,4	9,7	4, 9	91,0
Подрібнювач «Волгар-5»	16,2	5 6,5	3 6,7	5, 2	1,5	0, 1	98,0
Дробарка	16,0	6 0,8	3 5,1	3, 3	0,8	-	86,0

КДУ-2							
Дробарка	13,0	9	2,	0,	-	-	99,0
СБ-1,5		7,6	3	1			

Як видно з табл. 1.3, промислові подрібнювачі грубих стеблових кормів не дозволяють отримати однорідну масу січки з розміром, регламентованим зоотехнічними вимогами, що обумовлено відмінністю механіко-технологічних властивостей стебел у подрібнюваному шарі. Крім того, видно, що машини, в яких поєднано удар і різання, якісніше здійснюють поздовжнє дроблення стебел.

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 враховувати розробки нових високоефективних подрібнювачів [4, 5, 6, 8, 12].

Істотною механіко-технологічною характеристикою грубих стеблових кормів є структура. Стебло виконує такі основні функції: несе у собі масу рослини, чинить опір статичним та динамічним навантаженням, забезпечує листову поверхню водою та розчиненими в ній мінеральними речовинами, накопичує запаси поживних речовин. У різних рослин залежно від їх біологічних і

морфологічних особливостей ті чи інші функції розвинені в більшій чи щонайменше, внаслідок чого через безліч їх комбінацій є різноманітні за будовою стебла.

Першоосною будь-якої рослини є жива клітина, представляє 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. Переважна останньою 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, що чергуються, зони. 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 паренхімних клітин центрального циліндра, в результаті чого стебло виходить порожнім (соломіна) [14]. 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 в залізобетонних конструкціях, в рослинах є тканини та клітини, відповідні арматурі залізобетону, що пронизують (а іноді й обмотують) основну масу. Тканини та клітини-одиначки подібного роду називаються арматурними або механічними, а сукупність їх – арматурою, стереомом чи механічною системою. Арматура рослин може бути представлена трьома різними типами тканин і клітин: склеренхімою, коленхімою та кам'янистими клітинами (склероїдами) [8, 9].

Для всіх типів арматурних тканин характерно: 1) сильне потовщення клітинних стінок, 2) тісне, за рідкісними винятками, змикання між клітинами; 3) відсутність перфорації у клітинних стінках [7, 8, 9].

Найбільш важливою для міцності рослин арматурною тканиною є склеренхіму [7, 8, 9]. Ця тканина складається з прозенхімних клітин, які можуть бути названі товстостінними волокнами. При повному своєму розвитку клітини зазвичай немає вмісту, і порожнини їх заповнюються повітрям. До цього часу клітинні стінки, за рідкісним винятком, дерев'яні. Матеріал клітинних стін типової склеренхіми по міцності на розрив і за величиною межі пружності близький до конструкційної сталі.

Слід зазначити, що наскільки можна протистояти динамічним навантаженням без залишкових деформацій склеренхіма значно перевершує сталь.

Тканини зазвичай утворюють в органах рослин складні комплекси. (рис. 1.1 та рис. 1.2), в яких вони пов'язані єдністю походження та розташування. Одним із найпоширеніших комплексів тканин є провідні пучки, які є комплексом трьох поділяти п'ять основних груп: освітні, 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 щодо один одного, відповідний рівноважному стану виконуваних ними функцій на даному етапі розвитку рослин.

Для всіх рослин характерна радіальна будова стебла, що складається зі шкірки та центрального циліндра. Останній складається з паренхімних клітин основної тканини, через яку проходить провідна тканина. Основна тканина в поперечному перерізі неоднорідна, із зменшенням розміру клітин міцність її зростає. У деяких рослин спостерігається розрив тканин: провідної, механічної та основної, кожна з них виконує властиву їй функцію [13].

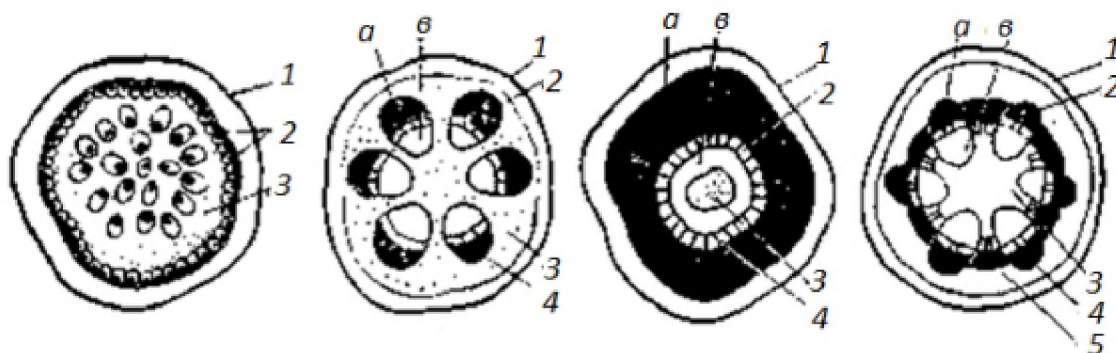


Рисунок 1.1 – Схема розподілу тканин у поперечному перерізі стебла:
 1 – шкірка; 2 – провідна тканина; 3 – основна тканина; 4 – пучковий камбій;
 5 – міжпучковий камбій; а – флоема; в – ксилема

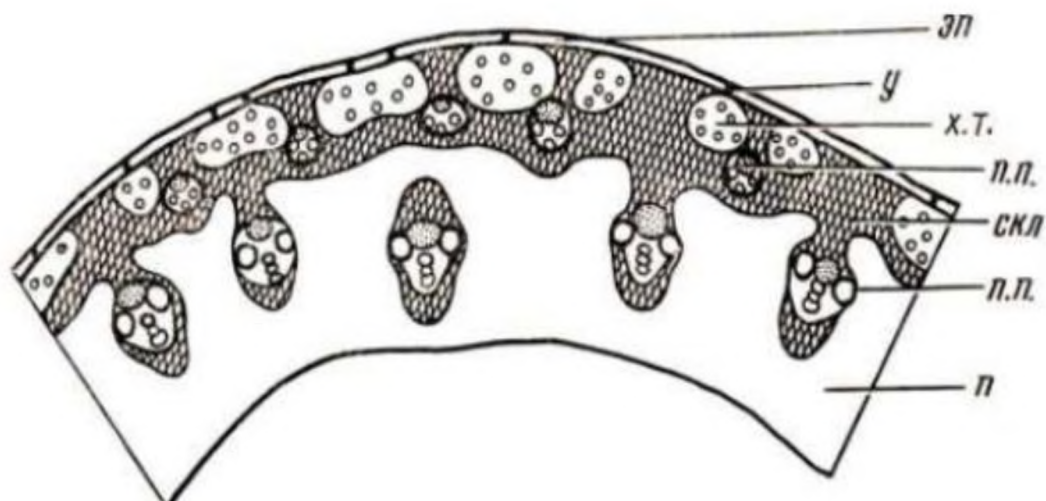


Рисунок 1.2 – Схема будови соломини жита: п – паренхіма; п.п.- закриті колатеральні провідні пучки; скл - склеренхіма; у – продох; х.т. – хлорофілоносна тканина; эп – епідерма

Під загальною механічною будовою стебел сільськогосподарських рослин слід розуміти конкретну конструкцію з циліндра основній тканини, армованої провідними пучками і облямованої щільною шкіркою [12]. Вся різноманітність конструкцій стебел обумовлюється розподілом його провідних пучків в основній тканині.

Принципи, за якими здійснюється цей розподіл, вперше було виявлено раніше [12]. Перший враховує вплив на стебло рослин 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 рослини статичних навантажень. Він вказує на необхідність розподілу пучків у периферії циліндра основної тканини. Це збільшує жорсткість і опірність стебла статичним навантаженням.

Основним недоліком щодо механіко-технологічних властивостей грубих стеблових кормів є розгляд стебел і шару стебел як однорідного середовища, проте, 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 у подальших дослідженнях.

1.3 Аналіз існуючих конструкцій подрібнювальних апаратів

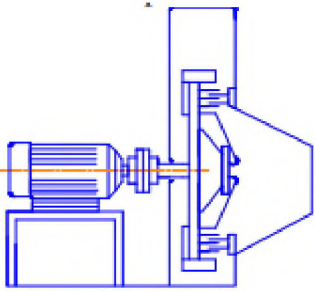
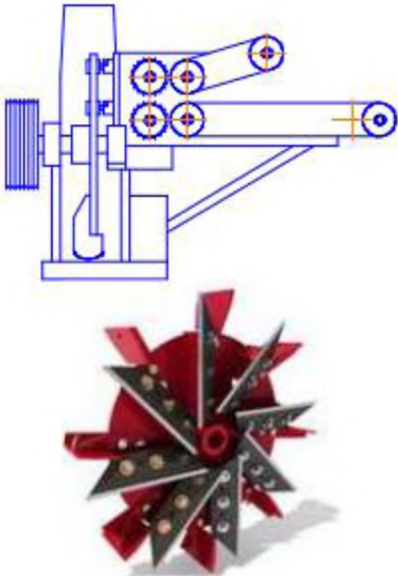
Дослідження спрямоване на визначення найефективніших конструкцій подрібнювачів грубих стеблових кормів та шляхів вдосконалення їх робочих органів.


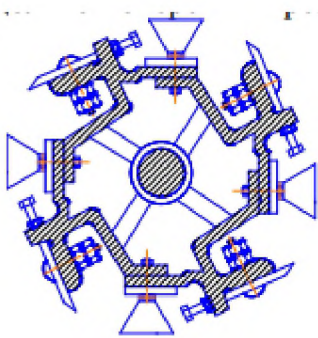
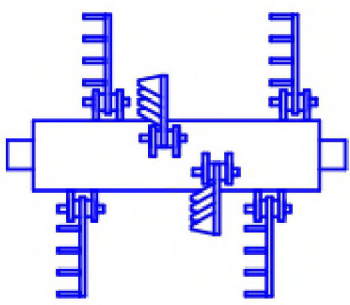
В даний час на фермах використовуються робочі органи [5, 11, 13] для подрібнення грубих стеблинних кормів, які представлені в табл. 1.4.

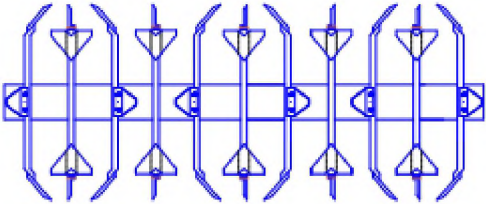
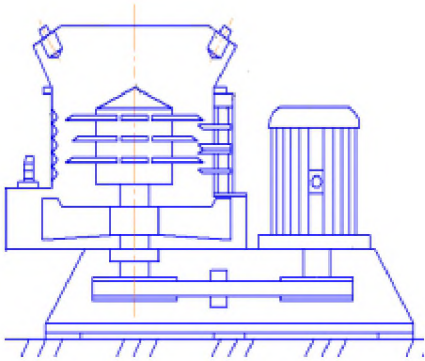
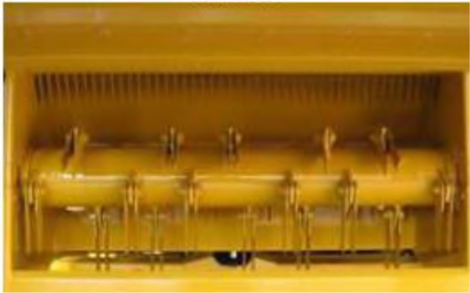
Як видно з таблиці 1.4., для подрібнення грубих стеблових кормів використовуються конструкції із робочими органами різного типу. Однак не всі типи робочих органів здатні розщеплювати стебла, хоча при подрібненні рослин з великим стеблом (наприклад, кукурудза) розщеплення відсічених частинок на шматки дуже важливо, це дозволяє створити більш м'яку масу, що легко поїдається тваринами. Також із аналізу видно, що перспективним є барабанний тип робочого органу, оскільки він добре узгоджується з пристроєм живлення і дозволяє ефективно застосовувати як ножі, і шарнірно підвішені молотки різної конструкції. Наведено класифікацію (рис. 1.3) та зроблено аналіз подрібнювачів з шарнірно підвішеними ножами (рис. 1.4), згідно з яким головне призначення шарнірної підвіски ножів – це виключити їх поломку при попаданні в подрібнюючий апарат сторонніх твердих предметів. Крім того, при шарнірній підвісці ножів забезпечується зниження навантажень барабана при надмірному поданні маси [11].

Таблиця 1.5 – Робочі органи подрібнювачів грубих стеблових кормів

Тип робочого органу	Марка	Розробники та дослідники	Примітка
1	2	3	4

<p>Штифтовий</p> 	<p>ІГК-30Б</p>	<p>Мельников С.В., Резнік Н.Є., Ревенко І.І.</p>	<p>Подрібнення стебел, використовуючи процеси зламу, розриву та перетирання при їх вологості до 40%</p>
<p>З ножами, закріпленими на крильчатці</p> 	<p>РСС-6, комбайн Sterh 2000</p>	<p>Мельников С.В., Резнік Н.Є., Брагінець Н.В., Ялпачик Г.С., Ревенко І.І.</p>	<p>Подрібнення стебел та соковитих кормів, використовуючи різання та розщеплення частинок з метою отримання м'якої маси</p>
<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>
<p>Барабанний</p>	<p>РСБЗ,5М4, ІКВ-5А, Дон 680</p>	<p>Мельников С.В., Резнік Н.Є., Брагінець Н.В., Ялпачик Г.С., Ревенко І.І.</p>	<p>Подрібнення стебел з регульованою довжиною різання без розщеплення вздовж волокон</p>

			
<p>З поздовжньо-поперечним різанням</p> 		<p>Еллі А.Я., Рустамов С.І., Горячкін В.П.</p>	<p>Подрібнення стебел різанням і розщеплення частинок з метою отримання м'якої маси</p>
<p>З багатоплощинним робітником органом</p> 		<p>Аюгін П.М., Резнік Н.Є., Рустамов С.І.</p>	<p>Робочий орган забезпечує гарна якість подрібнення: частинки завдовжки 20 – 50 мм становлять 85,7%, а розщеплені частинки перевищують 97%</p>
<p>Фрезбарабан</p>	<p>ФН-1,2,</p>	<p>Мельников С.В.,</p>	<p>Уявляє</p>

	ПСК-5	Резнік Н.Є., Белянчиков Н.М., Алешкін В.Р.	собою циліндр, на поверхні якого прикріплені по гвинтовій лінії Г-подібні ножі
1	2	3	4
<p>Вертикальний ножовий барабан</p> 	Позов-3, ІС-20А, ІСРВ-12, Позов-30	Мельников С.В., Резнік Н.Є., Ревенко І.І., Вольвак С.Ф.	Вертикальний барабан з декількома рядами ножів, подрібнює корм за допомогою взаємодії з протиризами
<p>Барабан із шарнірно підвішеними ножами</p> 	Дон1500Б, SAMPO	Шаповалов В.І., Макаров І.В., Мельников С.В., Сироватка В.І.	Подрібнення стебел по принципом різання пуансоном (рубка) з розщепленням частинок від удару

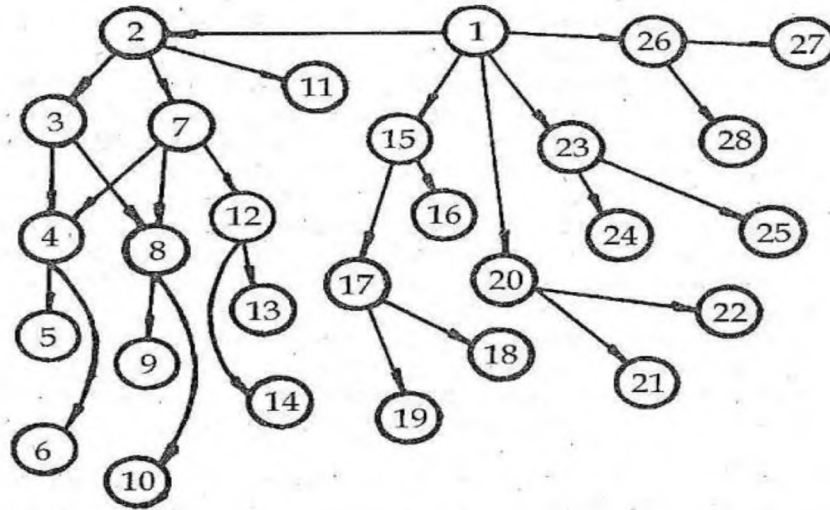


Рисунок 1.3 – Класифікаційний граф шарнірних ножів: 1 – шарнірні ножі; 2 – за кількістю лез на одному ножі; 3 – з одним лезом; 4 – за розташуванням щодо диска, 5 – асиметрично; 6 – симетрично; 7 – з двома спареними лезами; 8 – за розташуванням лез на ножі; 9 – з лезами, розташованими перпендикулярно і паралельно до поздовжньої осі барабана; 10 – з лезами, розташованими під кутом до поздовжньої осі барабана; 11 – без ріжучих лез; 12 – за видом зв'язку лез; 13 - з незалежною підвіскою; 14 - з жорстким зв'язком; 15 - за способом створення повітряного потоку; 16 – за рахунок лобової поверхні лез; 17 – за рахунок встановлення додаткових лопаток; 18 - з розташуванням лопаток по всій довжині лез; 19 – з розташуванням лопаток на ділянках лез, що не входять до протириз; 20 - по можливості руху навколо осі; 21 – з круговим обертанням; 22 - з поворотом на заданий кут; 23 – за розташуванням центр ваги; 24 – у зоні геометричної симетрії ножа; 25 - зі зміщенням до периферії ножа; 26 – за формою заточування леза; 27 – одностороння; 28 – двостороння

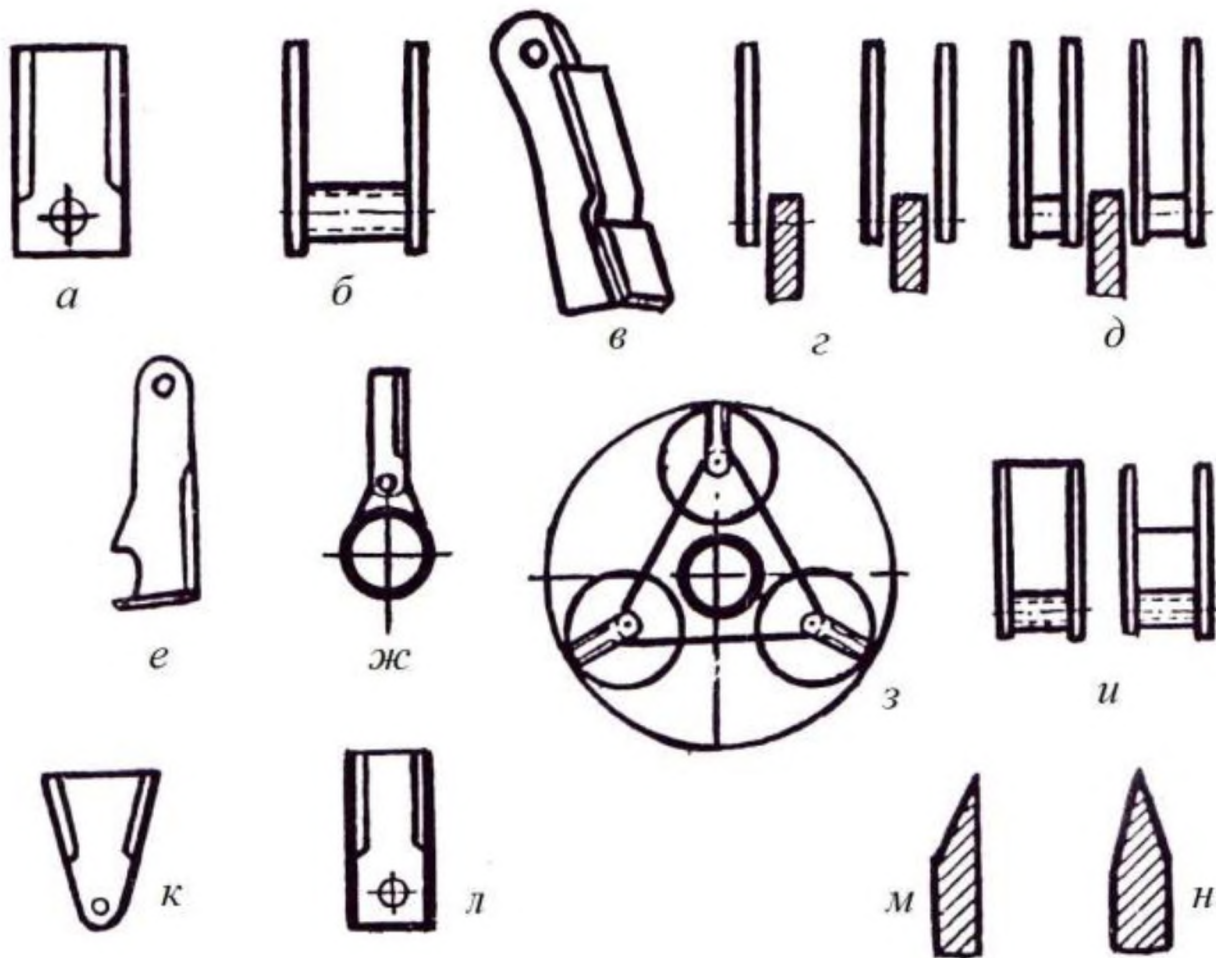


Рисунок 1.4 – Різновиди конструкцій шарнірних ножів подрібнювальних апаратів до зернозбиральних комбайнів

Шарнірні ножі класифікують за кількістю лез на ножі, можливості руху навколо осі підвісу, за розташуванням центру тяжкості, за способом створення повітряного потоку, формою заточування і т.д.[3]. За кількістю лез на ножі шарнірні ножі виконують з одним лезом (малюнок 1.4, а), з двома спареними лезами (малюнок 1.4, б) і взагалі без лез (рисунок 1.4, в) як молотків [3]. При виконанні ножів зі спареними лезами переслідується мета зниження маси барабана за рахунок зменшення кількості несучих дисків. Однак однолезові ножі більш технологічні у виробництві, експлуатації, ремонті. Вони допускають використання чотирьох ріжучих кромки за рахунок їхнього повороту. Ножі без лез (рисунок 1.4, в) здійснюють подрібнення соломистої маси тільки при взаємодії з ріжучим пристроєм [3]. У цих ножах не використовується ефективно удар влітку при захопленні соломи. Ножі розрізняються також за розташуванням відносно несучого диска. Вони можуть встановлюватися з

асиметричним розташуванням щодо диска (рисунок 1.4, г) та симетричним (рисунок 1.5, д) [3]. При асиметричній установці ножів несучий диск навантажується згинальним моментом, що небажано. Симетричне розташування ножів спрощує конструкцію та знижує її масу. Слід зазначити, що ножі з двома спареними лезами можуть встановлюватися на диск із незалежною підвіскою (рисунок 1.4, д) та жорстким зв'язком [1, 29, 30, 117]. Жорсткий зв'язок забезпечує збільшення загального моменту інерції ріжучого блоку, що доцільно під час роботи на зволоженій та засміченій масі. Шарнірні ножі можуть виконуватися з лезами, розташованими паралельно і перпендикулярно до поздовжньої осі барабана (рисунок 1.4, е) та з лезами, розташованими перпендикулярно осі (рис 1.4, а) [1, 11]. Перші мають суттєві недоліки, найбільш доцільні ножі з розташуванням лез перпендикулярно до поздовжньої осі барабана.

По можливості руху навколо осі підвісу ножі виконуються з можливістю повороту на заданий кут (рисунок 1.4 ж) і з круговим обертанням (рисунок 1.4, з) [11]. Перевага кріплення ножів з круговим обертанням полягає в ненаголошеній роботі ножів про обмежувачі та можливості вимикання частини ножів шляхом їх повороту в зону диска та фіксації.

Для створення додаткового повітряного потоку ножі виконуються з лопатками (рисунок 1.4 і) і без них [3]. Ножі з додатковими лопатками застосовуються в основному для одночасного подрібнення та транспортування маси у транспортні засоби. При цьому такі ножі можуть виконуватися з лопатками по всій довжині, ріжучих кромок або тільки на ділянці, що не входить у протиріжучий пристрій [2, 3, 11].

За розташуванням центру тяжкості ножі виконують зі зміщенням його до периферії ножа (малюнок 1.4, к) та з розташуванням у зоні геометричної точки симетрії ножа (малюнок 1.4, л) [3]. При зміщенні центру важкості ножа має на меті поліпшення його ріжучих властивостей. За формою заточування лез ножі виконують з одностороннім заточуванням (рисунок 1.4, м) та двостороннім (рисунок 1.4, н) [2]. Ніж з одностороннім заточуванням простіше в виготовленні, однак у процесі роботи

випробовує односторонні згинальні зусилля та кручення. Ніж з двостороннім заточуванням має підвищеною стійкістю у роботі [3].

В результаті аналізу видно, що ефективність робочого органу подрібнювача підвищується за умови забезпечення руйнування корму в поздовжньому та поперечному перерізі шару.

Підготовка кормів до згодовування проводиться з метою підвищення їх ефективності через поліпшення технологічних властивостей та швидку перетравлюваність. У існуючих конструкціях сучасних подрібнювачів грубих та стеблових кормів робочі органи здійснюють наступні види руху: поступальний, обертальний, зворотно-поступальний і коливальний.

Процес подрібнення грубих та стеблових кормів лезом називається різання. Виділяють три різновиди різання: нормальне (рубка), похилий і ковзний. Найбільший науковий інтерес представляє різання зі ковзанням, оскільки даний варіант технології відкриває можливості мінімізації витрат енергії (що є одним із напрямків даного дослідження).

Аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів показує доцільність розщеплення стебел молотками або штифтами при подрібненні, аналіз різальних апаратів, неодноразово проведений багатьма авторитетними вченими та дослідниками, показує ефективність ковзаючого різання ножем. Виходячи з вищесказаного слід, що з підвищення ефективності подрібнювача, необхідно використовувати обидва фактори. Отже, доцільно створити такий робочий орган, який забезпечує удар по стеблі та руйнує його внутрішню структуру, а також одночасно забезпечує ковзне різання розщеплених стебел.

1.4. Висновки та завдання дослідження

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати задачі дослідження:

1. Для подрібнення грубих стеблових кормів найбільше перспективним є барабанний тип робочого органу, оскільки він добре узгоджується з пристроєм живлення і

дозволяє ефективно застосовувати як ножі, так і шарнірно підвішені молотки різної конструкції.

2. Для подрібнення грубих стеблових кормів найбільше перспективним є ковзне різання, оскільки даний вид подрібнення, реалізований в ефективних барабанних подрібнювачах, вимагає застосування складних робочих органів та дозволяє знизити енергоємність процесу подрібнення за рахунок раціонального розподілу сил, що діють на стебла, що подрібнюються. Крім того, конструкція робочих органів, що забезпечують ковзне різання, дозволяє знизити матеріаломісткість барабанних подрібнювачів

3. Підвищити ефективність процесу подрібнення грубих стеблових кормів можна шляхом удосконалення робочого органу подрібнювача. Удосконалений робочий орган має одночасно розщеплювати стебла, руйнуючи його внутрішню структуру, та здійснювати ковзне різання розщеплених стебел.

Задачами дослідження є розробка нового подрібнювача, характеризується низькою енергоємністю та застосовністю в сучасних потоково-технологічних лініях кормоприготування, що послужить одним із шляхів вирішення задачі підвищення ефективності процесу механізованого приготування грубих стеблових кормів. Крім того, у нового подрібнювача для приготування кормів діапазон регулювання параметрів має бути широким, щоб забезпечувалось підстроювання машини якомога до більшої кількості умов роботи (наприклад, подрібнення сіна, соломи, стебел кукурудзи, сорго, обмолочених стрижнів качанів кукурудзи і т.д.).

На підставі проведеного аналізу висувається концепція ефективної механізації приготування грубих стеблових кормів шляхом розробки та впровадження у виробництво нового подрібнювача, здатного легко підлаштовуватися до різноманітності умов роботи.

РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз існуючих теоретичних досліджень процесу подрібнення грубих та стеблових кормів

Розвитку теорії подрібнення кормів присвячені праці В.П. Горячкіна, В.А. Желіговського, І.І. Ревенко, Н.В. Брагінця, В.І. та інших дослідників.

У роботах перерахованих вище дослідників розкрито фізику процесу подрібнення грубих та стеблових кормів, досліджено ряд важливих питань та здійснено математичне моделювання процесу, однак допущено низку спрощень, що вимагають подальших наукових досліджень.

Теорія подрібнення грубих стеблових кормів полягає в наступному. Якщо шар стебел у процесі різання міцно закріплений і не відгинається, то вид різання можна визначити кутом τ , утвореним нормаллю до ріжучої кромки, та напрямом дії сили P_p [2, 3, 4].

Між видами різання існує тісний зв'язок, і в міру збільшення τ вони переходять один до одного. Так, при $\tau = 0$ вид різання нормальний, при $0 < \tau \leq \varphi$.

Слід зазначити, що кут τ визначає як вид різання, але та характер розподілу деформацій у поперечному перерізі стебла. Збільшення концентрації деформацій можливе або за рахунок збільшення швидкості різання, або за рахунок перенесення деформацій з нормального напрямку у бік дотичного, тобто. за рахунок збільшення кута τ [2, 3, 4].

Для робочого процесу ріжучого апарату важливе значення мають такі фактори: ковзання ножа; затискання матеріалу; питома робота різання; фізико-механічні властивості матеріалу; робоча швидкість ножа, геометричні параметри ножа, зазор у ріжучій парі [2, 48, 9, 13, 15].

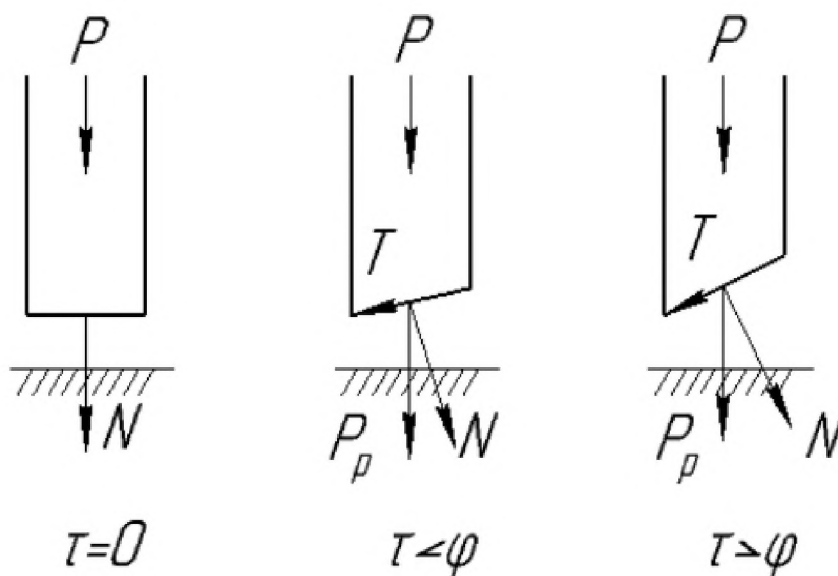


Рисунок 2.1 – Види різання стеблових матеріалів

Необхідною умовою забезпечення нормального перебігу процесу різання є затискання матеріалу між лезом і протиріжучою пластиною. Нижче розглянуто умови, за яких буде забезпечено надійне затискання матеріалу.

На рис. 2.2 зображено матеріал круглого перерізу в розчині ножиць, наприклад, рухомого ножа та нерухомої протирізальної пластини.

Таким чином, умова повного заміщення запишеться як:

$$\chi \leq 2\varphi_{\min} \quad (2.1)$$

За експериментальними даними, у дискових подрібнювачах грубих кормів $\chi = 40-50^\circ$, у барабанних - $\chi = 24-30^\circ$.

Анізотропні властивості рослинних матеріалів при руйнуванні їх лезом обумовлюються видом зрізу, що визначається розташуванням площини зрізу щодо волокон рослин та напрямом різання. Можливі комбінації розташування площини зрізу та напрямків різання визначають основні види зрізу: поздовжній, поперечний та бічний. У практиці частіше зустрічаються не основні види зрізу, а проміжні: косий (подовжньо-поперечний), похилий (поперечно-бічний) і подовжньо бічний. Виникають вони внаслідок того, що стебла неоднаково нахилені до площини зрізу, а шар у живильному пристрій рухається поступально. Перехід від одного зрізу до іншого за рахунок відгину стебел у процесі різання неминуче пов'язаний з появою

осьових сил, що негативно впливають на ефективність процесу та довговічність різальних елементів. А сам зріз виходить рваним (Рис 2.2 – Затискання матеріалу (а) у розчині лез та виштовхування (б) матеріалу з розчину лез). Статичний Метод побудови теорії нормального різання ось у чому.

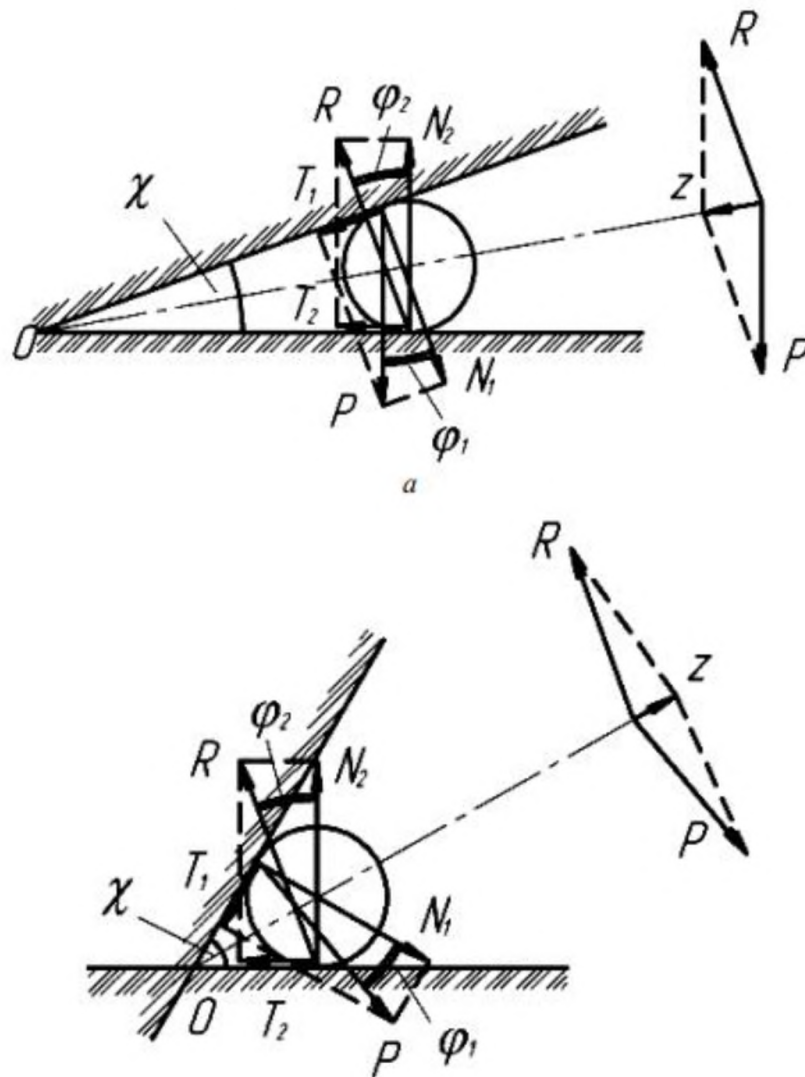


Рисунок 2.2 – Затискання матеріалу (а) у розчині лез та виштовхування (б) матеріалу з розчину лез

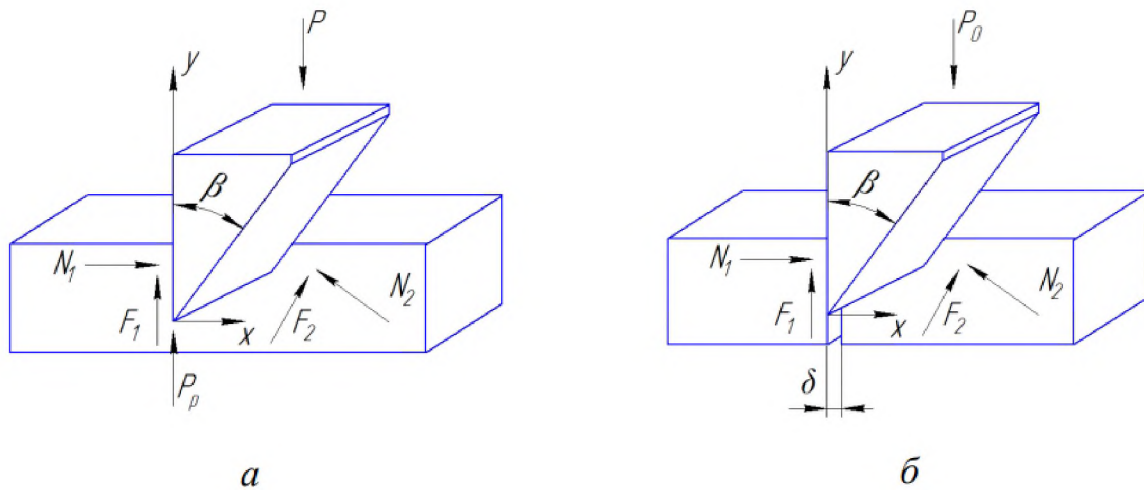


Рисунок 2.3 – Схема сил, що діють на ніж при нормальному різанні: а – взаємодія ножа із шаром матеріалу;

б – схема для спрощеного дослідження

При дії ножа на шар матеріалу (рис. 2.3 а) на нього впливає вертикальна сила P , нормальні реакції N_1 та N_2 , сили тертя, що діють на бічні грані F_1 та F_2 , та сила опору різанню лезом P_p . Вважаючи рух леза рівномірним, рівняння рівноваги цих сил у проекції на осі x і y набуде вигляду:

$$\begin{cases} N_1 - N_2 \cos \beta + F_2 \sin \beta = 0; \\ -P + P_p + F_1 + F_2 \cos \beta + N_2 \sin \beta = 0. \end{cases} \quad (2.2)$$

Рівняння (1.2) містять п'ять невідомих (N_1 , N_2 , F_1 , F_2 , P_p). Сучасними дослідниками запропоновано таке рішення даного рівняння. При русі ножа та наявності ковзання між матеріалом та бічними гранями мають місце співвідношення [9]:

$$F_1 = fN_1, \quad H, \quad (2.3)$$

де f - Коефіцієнт тертя ковзання.

$$F_2 = fN_2, \quad H. \quad (2.4)$$

Далі зроблено припущення, що шар попередньо розрізаний тонким лезом, і ніж розсуває обидві частини шару на відстань (рис. 2.3 б), рівну товщині ріжучої кромки. І тут $P_p = 0$, а $P = P_0$. Виходячи з вищевикладеного, отримаємо [9]:

$$N_1 = \frac{P_0 (\cos \beta - f \sin \beta)}{2f \cos \beta + (1 - f^2) \sin \beta}, \text{ Н}, \quad (2.5)$$

$$N_2 = \frac{P_0}{2f \cos \beta + (1 - f^2) \sin \beta}, \text{ Н}. \quad (2.6)$$

Визначивши значення сил P і P_0 , експериментально можна встановити і розрахувати $P_p = P - P_0$. Нормальне різання характеризується тим, що сили P та P_0 перпендикулярні до осі шару. При швидкостях різання, незначних по порівняно зі швидкістю поширення деформацій у стеблах, останні майже рівномірно розподіляються по всьому поперечному перерізу стебел.

А це означає, що при нормальному різанні на малих швидкостях руйнування всіх структур конструкції стебла (оболонка, арматура, наповнювач) відбувається майже одночасно.

Даний метод має суттєвий недолік, який полягає в тому, що потрібна значна кількість попередніх експериментів з визначення P_0 . Крім того, метод не враховує швидкість різання та вологість матеріалу.

Зі зміною виду різання змінюється співвідношення нормального та щодо зусиль зрізу (рис. 2.4). З [7, 9] відомо, що з спаданням нормальної сили P_n дотична сила різання P_τ , необхідна для виникнення різання, зростає так, що їх рівнодійна зберігає постійну величину:

$$R = \sqrt{P_n^2 + P_\tau^2}, \text{ Н}. \quad (2.7)$$

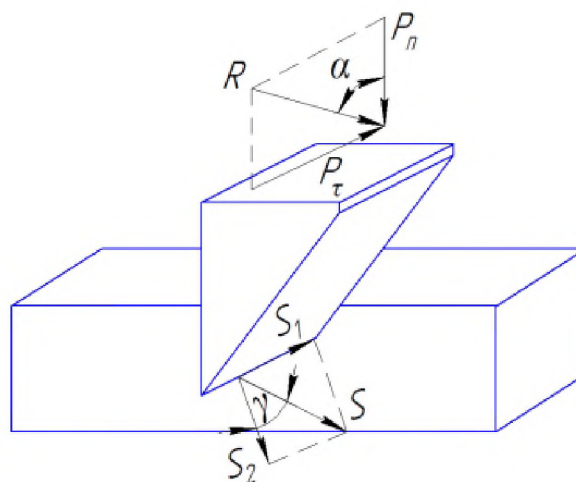


Рисунок 2.4 – Схема чинних сил

При цьому зміна кута нахилу рівнодійна R до нормалі леза (α) від 0 до 39° збігається із зміною кута напрямку переміщення леза, тобто. кути α та γ в межах $0-39^\circ$ рівні. Збіг сили R з напрямком переміщення леза свідчить про відсутність ковзання леза за матеріалом у зазначених межах кута α (випадок нормально-дотикового різання без ковзання). Однак при подальшому зменшенні нормальної сили та відповідному зростанні сили P_τ рівність α та γ порушується, і різниця їх величин швидко зростає. При $\gamma > \alpha$ виникає ковзання леза за розрізаним матеріалом [2,6].

Перерозподіл деформацій у поперечному перерізі стебла можливе лише завдяки наявності мікрозубців ріжучої кромки. Воно призводить до поступового руйнування волокон і пояснюється полегшенням проникнення леза в матеріал при нормально-дотичним різанні без ковзання і, особливо, при ковзному різанні.

При малих швидкостях різання контактна напруга, що призводить до руйнування волокон, що досягаються за рахунок значних деформацій малої концентрації. Зі збільшенням швидкостей різання обсяги деформацій матеріалу зменшуються, а концентрація деформацій зростає.

Отже, спільне переміщення точок контакту волокон з ріжучою крайкою значно зменшується. У цьому випадку вплив кута заточування на процес проникнення леза у матеріал незначний. Але водночас, позитивний вплив малих кутів заточок незаперечний і пояснюється тим, що вони сприяють збільшенню концентрації деформацій рослинного матеріалу [2, 7, 12, 14, 16].

Метод побудови теорії нормально-дотикового різання зі ковзанням полягає в наступному. При дії ножа на шар матеріалу (рис. 2.5 а) на нього впливає вертикальна сила P_n , нормальні реакції N_1 і N_2 , сили тертя, що діють на бічні грані F_1 і F_2 , сила тертя F_3 , що діє на лезо, сила опору різанню Q .

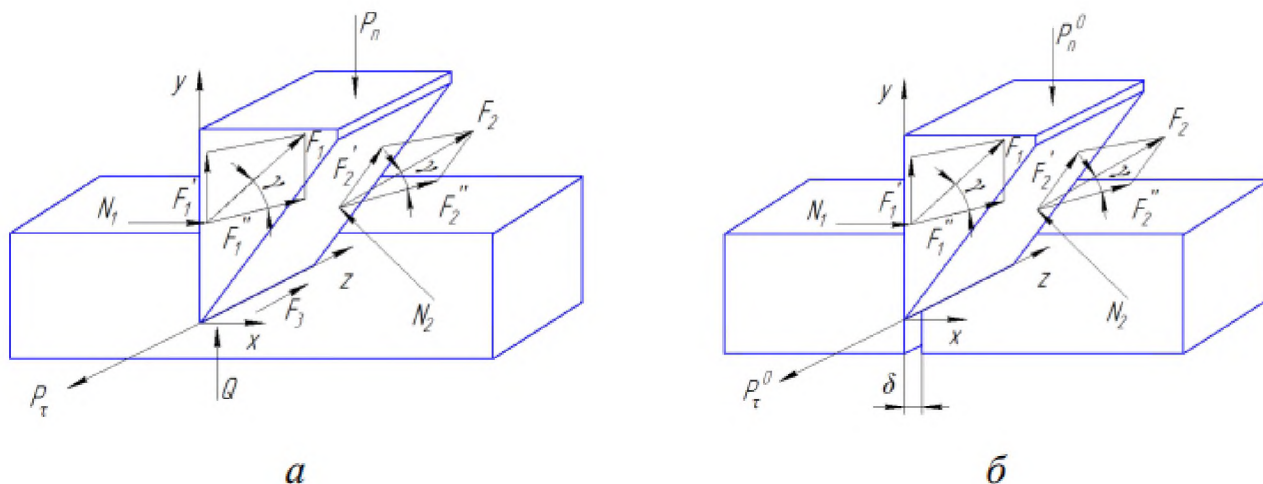


Рисунок 2.5 – Схема сил, що діють на ніж під час ковзання: а – повна схема: б – спрощена схема

Вважаючи рух ножа рівномірним, рівняння даних сил проєкціях на x , y , z набудуть вигляду [9]:

$$\begin{cases} -P \sin \alpha + Q + F_2 \sin \gamma \cos \beta + F_1 \sin \gamma + N_2 \sin \beta = 0; \\ N_1 - F_2 \sin \beta \sin \alpha - N_2 \cos \beta = 0; \\ P \cos \alpha - F_3 - F_1 \cos \alpha - F_2 \cos \alpha = 0. \end{cases} \quad (2.8)$$

Аналогічно випадку нормального різання, описаного вище, проводиться спрощення (рис. 2.5, б). І тут $Q = 0$, $F_3 = 0$, а $P = P_0$ [6]:

$$\begin{cases} -P \sin \alpha + fN_2 \sin \gamma \cos \beta + fN_1 \sin \gamma + N_2 \sin \beta = 0; \\ N_1 - fN_2 \sin \beta \sin \alpha - N_2 \cos \beta = 0; \\ P_0 \cos \alpha - fN_1 \cos \gamma - fN_2 \cos \gamma = 0. \end{cases} \quad (2.9)$$

$$N_1 = \frac{P_0 \sin \alpha (\cos \beta - f \sin \gamma \sin \beta)}{2f \sin \gamma \cos \beta + (1 - f^2 \sin^2 \gamma) \sin \beta}, \text{ Н.} \quad (2.10)$$

$$N_1 = \frac{P_0 \sin \alpha}{2f \sin \gamma \cos \beta + (1 - f^2 \sin^2 \gamma) \sin \beta}, \text{ Н.} \quad (2.11)$$

Підставивши значення N_1 та N_2 у рівняння (2.9) можна отримати співвідношення кутів α та γ [9]:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2f \sin \gamma \cos \beta + (1 - f^2 \sin^2 \gamma) \sin \beta}{(1 + \cos \beta - f \sin \gamma \sin \beta) \cos \gamma}, \text{ Н.} \quad (2.12)$$

Метод простий дозволяє вирішувати наближені завдання. Недоліком є те, що для визначення кута γ необхідно експериментальне визначення кута α , який не є

постійним. Також, метод не враховує швидкість різання та механіко-технологічні властивості подрібнюваного матеріалу. Крім того, сила опору різання взагалі не моделюється.

Багато дослідників пропонують силу різання визначати з вирази:

$$P_p = 2EFtg\alpha \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \text{ Н}, \quad (2.13)$$

де E - модуль Юнга, МПа;

F – площа поперечного перерізу матеріалу, що перерізається, мм.

Недоліком вираження є той факт, що всі механіко-технологічні властивості подрібнюваного матеріалу характеризуються лише модулем пружності. Слід зазначити, що при розробці теорії різання враховують конструктивний кут різання α_1 (рис. 2.6) [2, 9, 13].

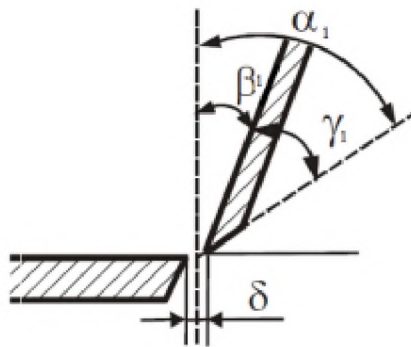


Рисунок 2.6 – Схема різучої пари

$$\alpha_1 = \gamma_1 + \beta_1, \text{ град} \quad (2.14)$$

де γ_1 - кут заточування ножа;

β_1 - кут установки ножа.

Для подрібнювачів грубих кормів кут заточування ножа $\gamma_1 = 12-22$ градуси. Нижня межа кута заточування обумовлена міцністю матеріалу, а верхній – економічність режимів різання.

З аналізу умов різання лезом впливає, що для робітника процесу подрібнювачів грубих кормів основне значення мають такі параметри, як нормальний тиск ножа на матеріал та бічне ковзне рух ножа. Кількісне співвідношення між цими параметрами

характеризується значеннями коефіцієнта ковзання та коефіцієнта ковзного різання.

Зазор між лезом ножа та протиріжучою пластиною δ повинен бути в межах 0,5-4,6 мм [90, с.6]. Проведений аналіз показує, що загальноприйнята теорія різання не враховує ряд суттєвих явищ, найважливішим з яких є неоднорідна структура будови стебел, що подрібнюють. Крім того, не завжди враховується динаміка процесу руйнування стебел, зокрема удару по стеблі. Видно, що єдиної думки про теорію подрібнення грубих стебельчастих кормів вчені поки що не сформували [2, 7, 9].

Особливістю барабанних різальних апаратів є те, що кут α нахилу ножа щодо протирізальної пластини та кут χ защемлення рівні один одному. Тому аналіз схеми циліндричного ріжучого апарату в площині, перпендикулярній до площини різання, зводиться до розгляду таких його параметрів, як товщина h шару, що розрізається, висота розташування вала барабана над протиріжучою пластиною, діаметр барабана D у взаємозв'язку зі швидкостями $v_{сл}$, подачі шару матеріалу та швидкості $v_б$ обертання барабана. Траєкторія ножів барабана щодо шару матеріалу з урахуванням одночасного обертання ножів навколо осі барабана з кутовою швидкістю ω і подачі на барабан шару маси швидкістю $v_{сл}$ може бути представлена у вигляді трахоїди (рисунок 2.7), рівняння якої у нерухомих осях координат OX та OY буде [2, 6, 7, 9, 11, 12]:

$$x = v_{сл} t + \frac{D}{2} \cos \omega t; \quad y = \frac{D}{2} (1 - \sin \omega t), \quad (2.19)$$

де t – час, протягом якого барабан повернувся на кут ωt .

Тут прийнято припущення, що шар маси рухається поступально на барабан, а барабан на нерухомий шар зі швидкістю шару. При побудові послідовних положень ножа (рис. 2.7) співвідношення швидкостей $v_б$ і $v_{сл}$ прийнято близьким до одиниці, що додало трахоїда витягнуту форму [7, 9]. Дане припущення є істотним недоліком запропонованої теорії, оскільки насправді швидкість шару значно нижча за швидкість барабана.

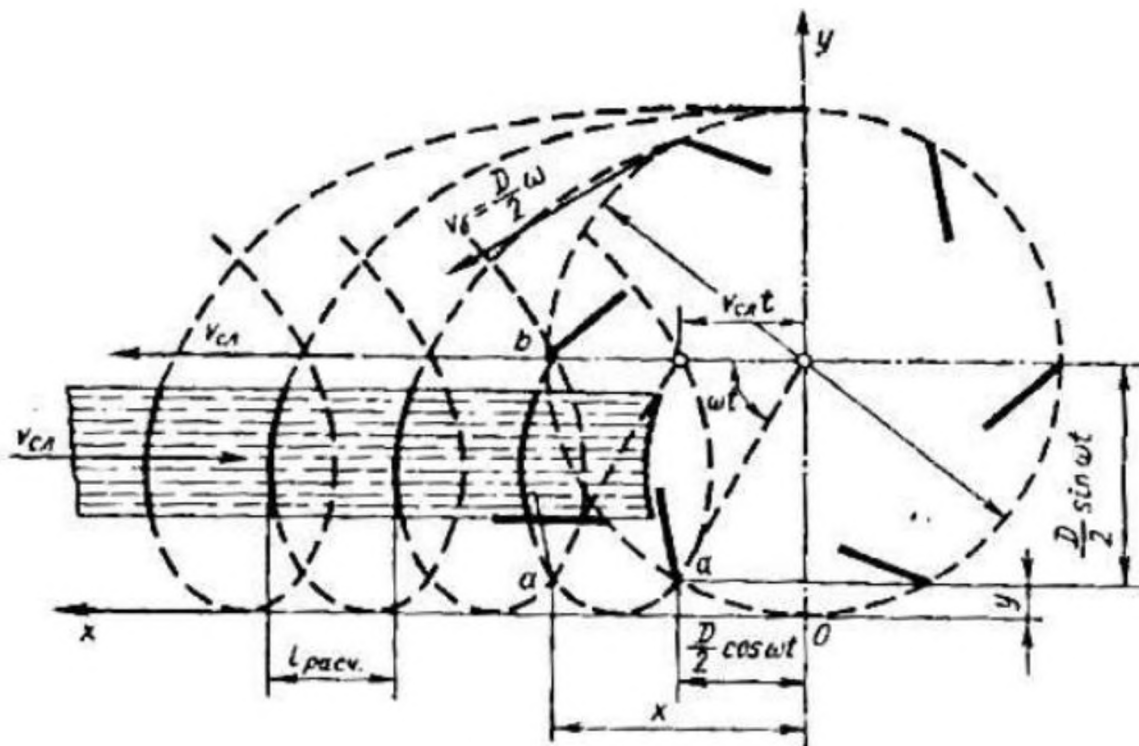


Рисунок 2.7 – Траєкторія руху лез ножів барабана

Відстань між будь-якими однорідними точками суміжних відрізків Трохоїди рівні між собою і є розрахунковою довжиною різання $l_{расч}$ [8, 9]. Цю довжину можна визначити, якщо значення абсциси x відняти від значення абсциси x_b наступного ножа за умови рівності їх ординат $y=y_b$ для обох наступних положень, тобто [7, 9]:

$$l_{расч} = x_b - x \quad (2.16)$$

Нехай центральний кут між ножами:

$$\theta = 2\pi/z, \quad (2.17)$$

де z - число ножів на барабані.

З рівняння (2.15) можна написати [8, 11]:

$$\sin \omega t = \frac{R - y}{R}, \quad (2.18)$$

Звідси

$$\cos \omega t = \sqrt{1 - \left(\frac{R - y}{R}\right)^2}, \quad (2.19)$$

Підставляючи значення $\cos \omega t$ рівняння (2.15), отримаємо [5, 8]:

$$x = v_{ct}t + R\sqrt{1 - \left(\frac{R-y}{R}\right)^2}, \quad (2.20)$$

Ніж b досягне у шарі положення α із запізненням на час Δt , необхідне повороту барабана на кут θ , т. е. [5, 8]:

$$\Delta t = \frac{\theta}{\omega} \quad (2.21)$$

Отже, абсцис для нового положення ножа b [5, 8]:

$$x^p = v_{ct}(t + \Delta t) + R\sqrt{1 - \left(\frac{y}{R - \lambda^p}\right)^2} \quad (2.22)$$

Підставивши значення Δt і враховуючи, що $y_b = y$ згідно з виразом (2.16), отримаємо [6, 7, 9, 10]:

$$l_{расч} = x_b - x = v_{ct}\left(t + \frac{\theta}{\omega}\right) + R\sqrt{1 - \left(\frac{R-y}{R}\right)^2} - v_{ct}t - R\sqrt{1 - \left(\frac{R-y}{R}\right)^2} \quad (2.23)$$

Звідки:

$$l_{расч} = v_{ct} \frac{\theta}{\omega} \quad (2.24)$$

Підставляючи значення θ і ω , отримаємо:

$$l_{расч} = v_{ct} \frac{2\pi}{2\pi n z} = \frac{v_{ct}}{nz} \quad (2.25)$$

Аналіз літературних даних показує, що на цьому етапі розвитку науки та техніки необхідно продовжувати дослідження процесу подрібнення стеблових кормів як теоретично, так і експериментально. При цьому необхідно теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри робочого органу подрібнювача, здатного одночасно розщеплювати стебла, руйнуючи його внутрішню структуру та здійснювати ковзне різання розщеплених стебел.

Обґрунтування даних конструктивно-технологічних параметрів, спираючись на аналіз існуючих наукових досліджень, доцільно проводити із застосуванням методик побудови математичних моделей, які враховуватимуть меншу кількість поправочних коефіцієнтів. Як відомо, більшість поправочних коефіцієнтів у теорії подрібнення стеблових кормів є функціями багатьох змінних, потребують серйозних досліджень.

Аналіз показав, що існуючі теоретичні передумови розробки та конструювання нових ефективних подрібнювачів недостатньо. Теорія вимагає подальшої систематизації та доопрацювання.

2.2. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми нового подрібнення грубих та стеблових кормів

Конструктивно-технологічна схема нового подрібнювача грубих стеблових кормів наведено рис. 2.8.

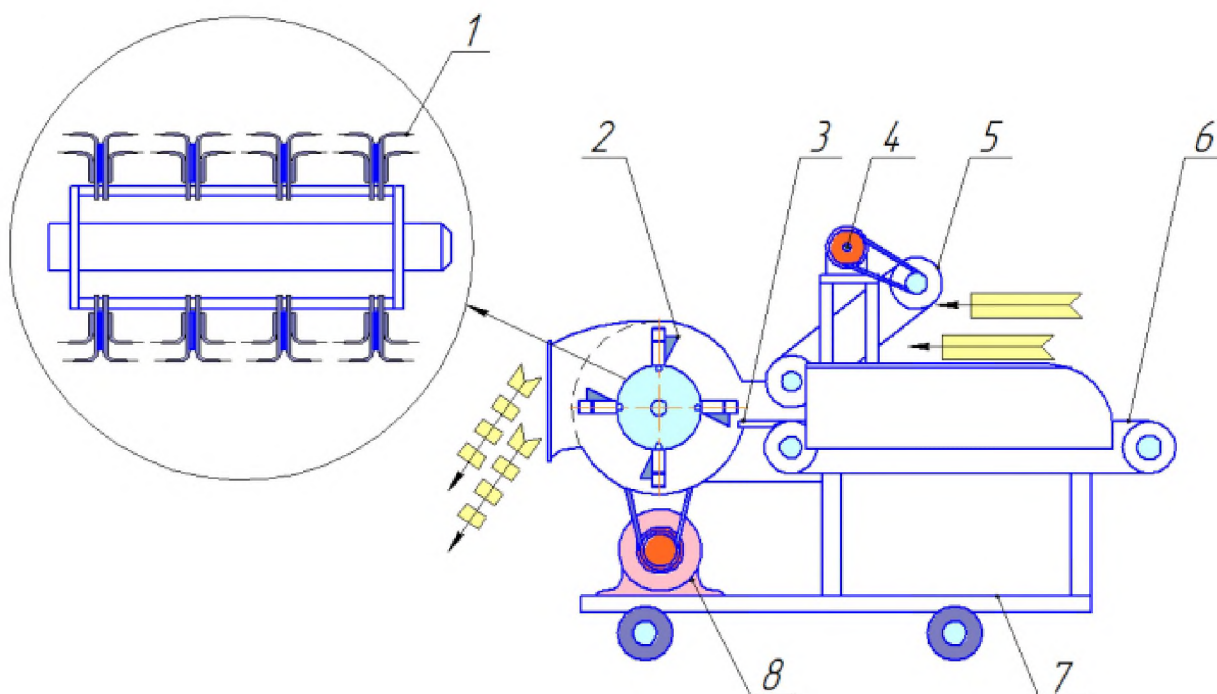
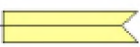



Рисунок 2.8 – Конструктивно-технологічна схема подрібнювача грубих стеблових кормів: 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – протиріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колосами; 8 – привід барабана;
 ←  - неподрібнені стебла;  – подрібнені стебла.

Новий подрібнювач грубих стеблових кормів включає: систему завантаження (СЗ), камеру подрібнення (КІ) та систему вивантаження (СВ) (рис. 2.9).

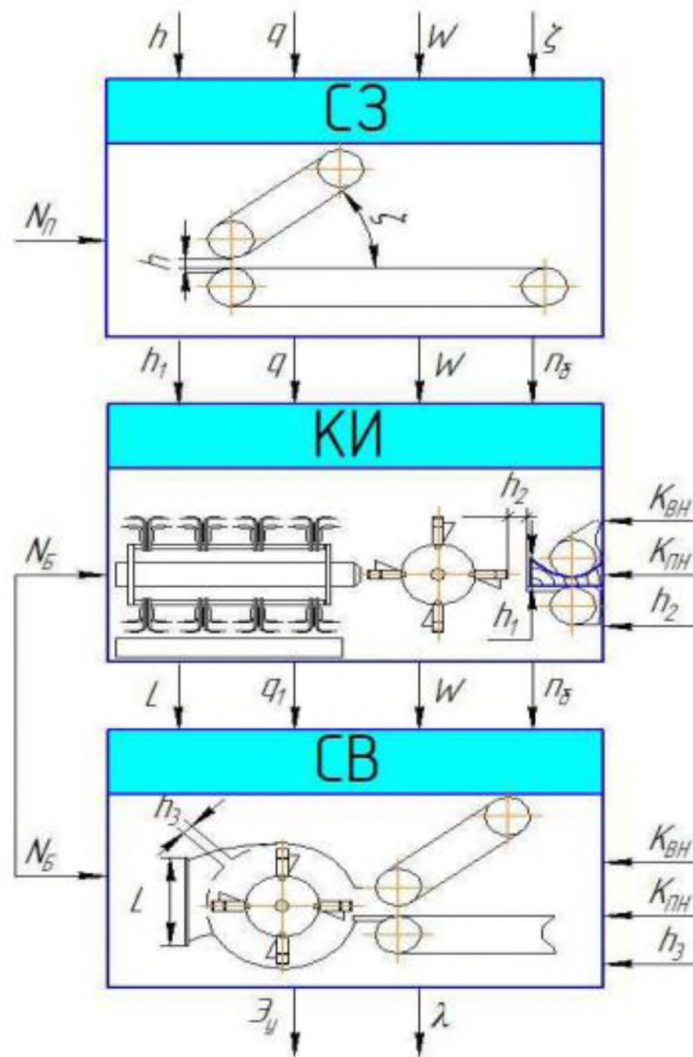


Рисунок 2.9 - Метод чорної скриньки: СЗ - система завантаження; КІ – камера подрібнення; СВ – система вивантаження; h – зазор між вальцями живлячих транспортерів; q – подача матеріалу до камери подрібнення; W – вологість матеріалу; ζ – кут нахилу притискного транспортера; N_{Π} - потужність на привід живильника; h_1 – товщина шару, що перерізається; $n_{\text{б}}$ - частота обертання барабана; h_2 – зазор між ножами та протиризом; $K_{\text{ВН}}$ – кількість вертикальних лез; $K_{\text{ПН}}$ – кількість поперечних лез; $N_{\text{б}}$ - потужність на привід барабана; L – розміри вивантажувального вікна; q_1 – подача подрібненого матеріалу; h_3 – розмір комірки решета; h_4 – зазор між серпоподібними лезами ε_y - Питома енергоємність процесу подрібнення; λ – ступінь подрібнення

Як робочий орган запропонований барабан з вільно підвішеними комбінованими

ножами, що включають вертикальні клиноподібні та поперечні серпоподібні леза. Робочий орган забезпечує суміщення способу різання пуансоном (рубки) і різання зі ковзанням.

Подрібнювач працює в такий спосіб [11]. Неподрібнені стебла укладаються оператором на горизонтальний транспортер, потім вони, переміщаючись, стискаються за допомогою притискного транспортера та спресованому вигляді подаються до подрібнювального апарату, де здійснюється опорне різання. Вертикальні клиноподібні леза розщеплюють частину стебел у поздовжньому напрямку, комбіновані ножі втрачають швидкість, при цьому забезпечуються раціональні умови для ковзного різання поперечними серпоподібними лезами. Однак ударна дія (рубка) частково зберігається, і частинки стебла, що відсікаються, розщеплюються на шматки в результаті розриву армуючих прожилок стебла. При цьому опір різання шару знижується. Подрібнені частинки стебел повітряним потоком виводяться через вивантажувальну горловину, в якій встановлено решето. Решето дозволяє неприпустимо довгі частинки стебел відправити на до-подрібнення.

На підставі розрахункової моделі функціонування (метод чорного ящика [6, 8, 9, 12, 13] (див. рис. 2.9)) можна виявити, що процес подрібнення грубих стеблових кормів складний, а його ефективність залежить від великої кількості діючих факторів. Ефективність процесу кількісно та якісно оцінюється двома показниками: питомою енергоємністю E_y та ступенем подрібнення λ . При цьому функція взаємозв'язку параметрів набуває вигляду:

$$\begin{cases} E_y = \Phi\left(\frac{N_{II}, N_B, h, h_1, n_6}{q, q_1, \zeta, W, L, h_3, K_{BH}, K_{PH}}\right); \\ \lambda = \Phi(h, q, W, \zeta, h_1, n_6, h_2, K_{BH}, K_{PH}, L, h_3). \end{cases} \quad (2.26)$$

Проведений аналіз конструктивних особливостей подрібнювачів грубих стеблених кормів, будови стебла кормових культур, існуючих теоретичних досліджень та функції взаємозв'язку параметрів (2.26) дозволяє укласти наступне. При різанні лезом матеріал руйнується під впливом тиску вершини двогранного кута робочої частини ножа, що називається лезом. Робочий процес різання матеріалу лезом складається із двох етапів: попереднього ущільнення та різання (рис 2.10) [2, 6,

3, 12, 13].

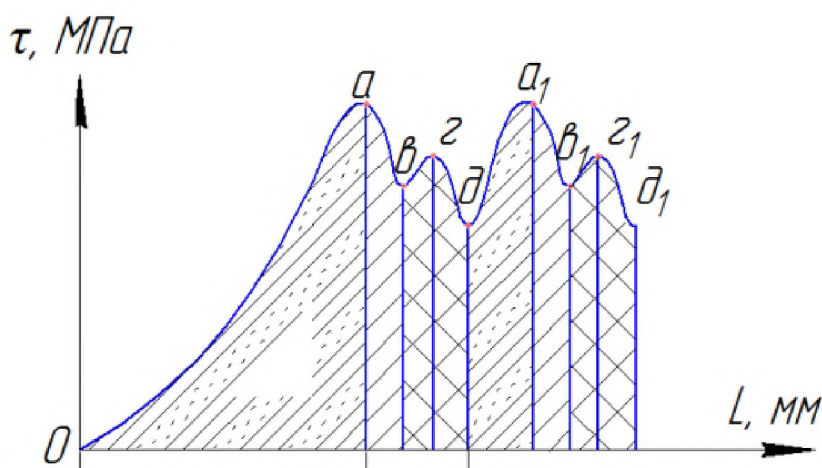


Рисунок 2.10 – Робочий процес різання матеріалу лезом

Початок кривої (0, а) – це процес стиснення стебла. Сам процес подрібнення одиничного стебла характеризується почерговою зміною пружних деформацій армуючих прожилок стебла (д, а1) їх пластичною деформацією (а1, в1), а потім зміною пружних деформацій основного матеріалу стебла (в1, г1) та його пластичною деформацією (г1, д1). Процес подрібнення, без урахування стиску, чотири-етапний, а як наслідок, робітний орган має бути таким, щоб усі етапи виконувались ефективно.

Зі сказаного раніше можна зробити наступне наукове припущення. Підвищити ефективність технологічного процесу подрібнення грубих стеблових кормів можна шляхом застосування робочого органу, оснащеного вільно підвішеними комбінованими ножами, що включають вертикальні клиноподібні та поперечні серпоподібні леза, що дозволяють раціонально створювати всі необхідні пружні та пластичні деформації подрібнюваного матеріалу при поєднанні рубки та ковзного різання.

З вищевикладеного випливає, що опір різання дорівнює:

$$P_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n P_1 + \sum_{j=1}^m P_2, \text{ Н.} \quad (2.27)$$

де P_1 - опір різання армуючих прожилок стебла, Н;

P_2 - опір різання основного матеріалу стебла, Н;

n – кількість армуючих прожилок стебел, що знаходяться в шар, що перерізається,

штук;

m - кількість шарів основного матеріалу стебел, що знаходяться в шар, що перерізається, штук.

У процесі роботи комбіновані ножі можуть здійснювати наступні дії: розщеплення стебла вертикальними клиноподібними лезами (рисунок 2.11, а), різання стебла серпоподібними лезами, встановленими в декілька ярусів (рис. 2.11, б) та одночасне дія двох видів лез (рис. 2.11, в).

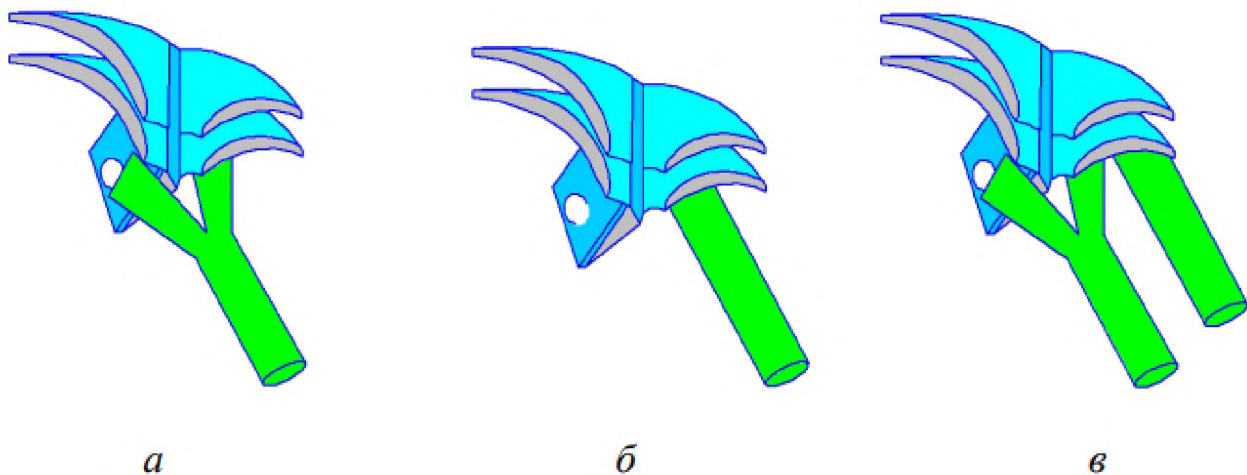


Рисунок 2.11 – Види взаємодії комбінованого ножа зі стеблом

За будь-якого виду взаємодії комбінованих ножів зі стеблом процес різання можна розділити на етап зміни форми поперечного перерізу стебла від круглого до еліптичного (стиснення стебла) та етап зміни площі зрізу у часі. Динаміка перебігу етапів у часі залежить від конструктивних особливостей лез, режимів різання та конструктивно-структурних характеристик тіла стебла. Для визначення конструктивних особливостей робочого органу та режимів різання необхідно провести дослідження.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Дослідження доводять можливість підвищення ефективності процесу подрібнення грубих кормів із міцним стеблом (наприклад, кукурудза, цукрове сорго, сорго-суданковий гібрид і т.д.) шляхом застосування робочого органу, що одночасно

забезпечує ударний вплив на стебла та їх ковзне різання шарнірно підвішеними комбінованими ножами.

2. В даний час теорія подрібнення грубих стеблових кормів потребує розробки низки нових математичних моделей, адекватно описують процес руйнування стебел у камері подрібнення. Дані моделі мають дозволяти на етапі проектування безпомилково визначати оптимальні конструктивно-технологічні параметри нових подрібнювачів та режими їх роботи. Отримані на основі нових математичних моделей оптимальні конструктивно-технологічні параметри дозволять конструкторам подрібнювачів грубих стеблових кормів мати більш повну інформацію про проєктований об'єкт, що, як наслідок, підвищить ефективність їх розробки та виготовлення в умовах виробництва.

3. Процес подрібнення стебел запропонованим робочим органом являє собою відсікання частинок певної довжини з їх одночасним розщепленням на частини. Закономірності даних явищ визначено в результаті нових теоретичних досліджень, на підставі яких розроблено математичні моделі, що визначають продуктивність та витрати потужності на подрібнення, вперше враховують ефект розщеплення відсічених частинок стебла на частини при проходженні робочого органу крізь подрібнений шар стебел.

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводились з метою перевірки адекватності нових теоретичних передумов, наведених у другому розділі даної дисертаційної роботи.

Для системного проведення експериментів розроблено програму досліджень, відповідно до якої необхідно:

1. Налаштувати, тарувати та тестувати контрольно-вимірювальну та реєструючу апаратуру.

2. Вивчити механіко-технологічні властивості кормів, що подрібнюють.

3. У системі однофакторних експериментів досліджувати вплив конструктивно-технологічних параметрів нового подрібнювача на ефективність його роботи та якість січки

4. У системі багатфакторних експериментів досліджувати вплив конструктивно-технологічних параметрів нового подрібнювача на енергоємність його роботи.

5. Провести графоаналітичну обробку отриманих результатів та зробити адекватні висновки.

Експериментальні дослідження проводились на кафедрі аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету у 2022-2023 роках на основі існуючих методик планування експериментів [17], а також методик, розроблених безпосередньо автором.

3.2. Експериментальне обладнання

Для проведення експериментальних досліджень була спроектовано та виготовлено експериментальну установку, яка складається з подає транспортера 1, живлячого транспортера подрібнювача 2, похилого транспортера подрібнювача 3, камери подрібнення 4, пульта управління 5 та загальної рами із системою приводу вузлів 6 (рис. 3.1). Робочий орган – барабан, оснащений вільно підвішеними комбінованими ножами, що включають вертикальні клиноподібні та поперечні серпоподібні леза (рис.3.2). Робочий орган забезпечує одночасне поздовжнє дроблення стебел та поперечне різання шару.

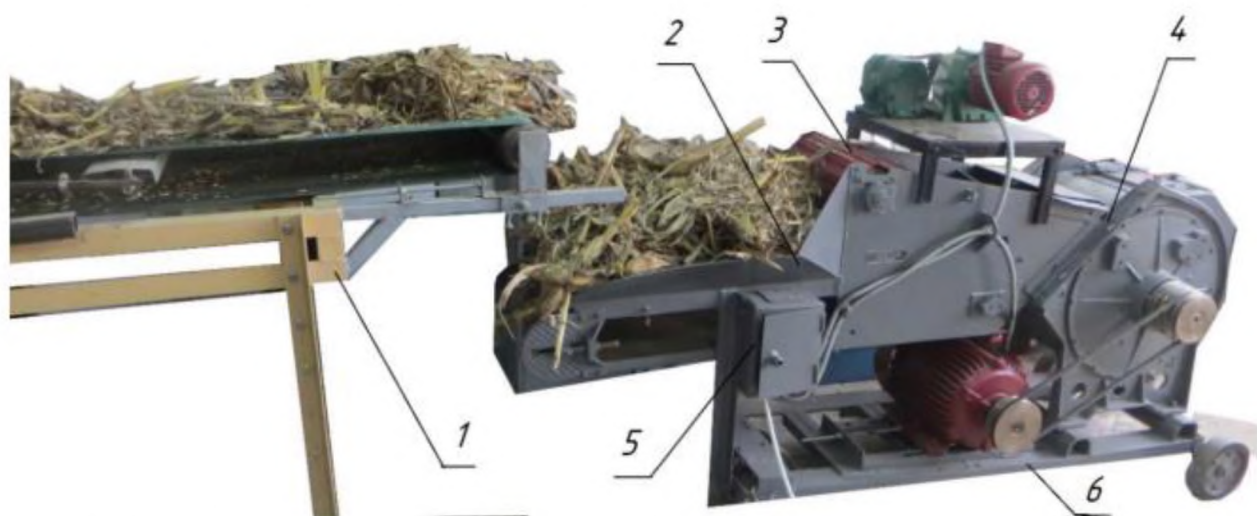
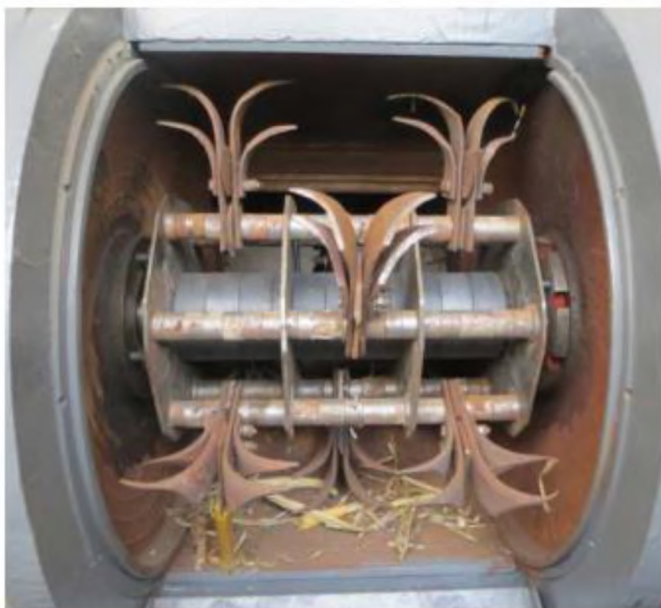
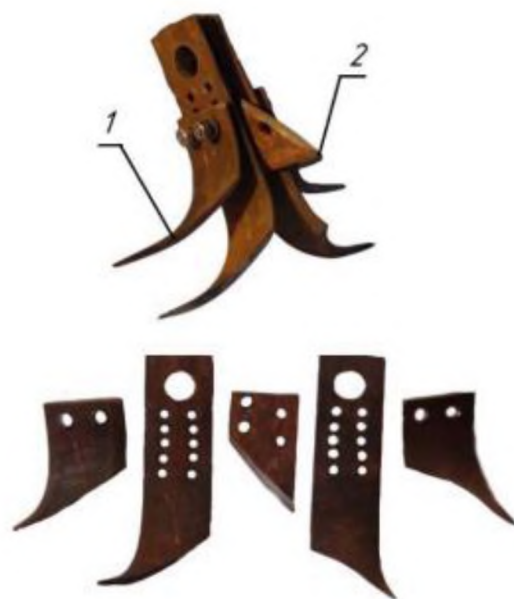


Рисунок 3.1 – Експериментальна установка: 1 – транспортер, що подає; 2 - транспортер подрібнювача, що живить; 3 – похилий транспортер подрібнювача; 4 – камера подрібнення; 5 – пульт управління; 6 – загальна рама із системою приводу вузлів



a



б

Рисунок 3.2 – Робочий орган нового подрібнювача: а – барабан у зборі; б - вільно підвішений комбінований ніж барабана; 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальне клиноподібне лезо

Потужність, потрібна на подрібнення грубих і стеблових кормів запропонованої експериментальної установки вимірюється комплектом К-505 (рис.3.3, а), частота обертання барабана цифровим тахометром УТ372 (рис.3.3, б), а час досвіду електронним секундоміром CASIO (рис.3.3, в).



Рисунок 3.3 – Контрольно-вимірвальне обладнання експериментальної установки: а – комплект вимірвальної апаратури К-505; б – ручний тахометр, в – електронний секундомір

Частота обертання робочого органу регулюється шляхом перестановки змінних шківів приводу. Привод барабана здійснюється за допомогою асинхронного електродвигуна, що забезпечує постійну частоту обертання 1030 об/хв. Установка укомплектована п'ятьма шківками з діаметром: 130; 136; 141, 147, 153 мм. Дані шківки дозволяють встановити такі частоти обертання барабана: 870, 910, 950, 990, 1030

об/хв. Крок зміни частот обертання 40 об/хв. Барабан подрібнювача укомплектований шістьма осями підвісу, які вільно підвішені комбіновані ножі. Кількість комбінованих ножів може змінюватися: 3, 6, 9 та 12 штук.

Відстань між верхніми та нижніми серпоподібними лезами комбінованих ножів змінюється не більше від 10 до 30 мм. Зміна здійснюється за допомогою перестановки стягуючих болтів комбінованих ножів (див. рис. 3.2, б). Подача кормів на подрібнення змінюється шляхом зміни швидкості переміщення живильного транспортера подрібнювача. Вивантажувальний отвір подрібнювача укомплектовано змінними решітками з квадратними отворами розміром: 30x30; 40x40; 50x50 мм.

3.3. Методика дослідження механіко-технологічних властивостей подрібнених кормів

Метою дослідження є визначення реальних показників механіко-технологічних властивостей подрібнених грубих стеблових кормів безпосередньо перед проведенням експериментальної перевірки ефективності роботи нового подрібнювача та адекватності теоретичних досліджень.

Була визначена вологість подрібнених кормів, їх фрикційні та міцнісні властивості.

Вологість подрібнених кормів було визначено методом висушування матеріалу в сушильній шафі з подальшим зважуванням на аналітичних вагах [8, 9, 15]

Методика заснована на нагріванні матеріалу, поміщеного в бокс сушильній шафі (рис. 3.4, а), витримці її при температурі 105°C і охолодженні в ексікаторі (рис. 3.4, б), з подальшим зважуванням на аналітичні ваги ВЛКТ-500 (рис. 3.4, в).



а



б



в

Рисунок 3.4 – Устаткування для визначення вологості подрібнюваних грубих стеблинних кормів: а - сушильна шафа; б - ексікатор; в – ваги

Відносна вологість визначалася за формулою:

$$W = \frac{G_2 - G_1}{G_1 - G_0} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де G_0 - маса порожньої бюкси, г;

G_1 - маса бюкси з наважкою матеріалу після сушіння, г;

G_2 - маса бюкси з наважкою матеріалу до сушіння, р.

Повторність дослідів визначалася величиною відносною похибки середнього значення вимірюваного показника:

$$a = m/x, \% \quad (3.2)$$

де m - Абсолютна похибка вимірювань;

x – середнє арифметичне значення вимірюваної величини.

Абсолютна похибка вимірів:

$$m = x_i - x, \% \quad (3.3)$$

де x_i - значення, отримане в результаті вимірювання.

При визначенні статичного та динамічного коефіцієнтів тертя використовувалася похила дошка (рис. 3.5).

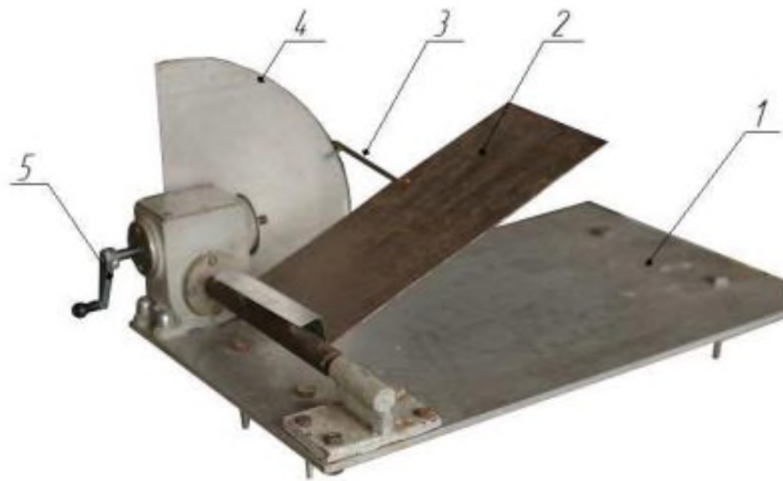


Рисунок 3.5 – Похила дошка визначення коефіцієнтів тертя: 1 – платформа; 2 – похила дошка; 3 – маркер; 4 – шкала; 5 – рукоять

Якщо частка грубого стеблового корму переходить із стану спокою у стан руху, то рушійна сила починає перевищувати максимальне значення сили тертя. Ця рушійна сила досягається при вугіллі установки сталеві похилої дошки β .

Знаючи кут β , статичний коефіцієнт тертя складе:

$$f_c = \operatorname{tg}\beta, \quad (3.4)$$

Динамічний коефіцієнт тертя визначається з виразу:

$$f_d = \operatorname{tg}\beta - \frac{2 \cdot S}{g \cdot t^2 \cdot \cos \beta}, \quad (3.5)$$

де S і t – шлях та час руху зразка по похилій дошці.

Оскільки стеблисті корми (наприклад, стебла кукурудзи, сорго і т.д.) досить товсті, порівняно з сіном чи соломою, та у своїй структурі мають армуючі прожилки, то доцільно визначити співвідношення площ поперечного розрізу армуючого та основного шару матеріалу окремо.

Для цього за допомогою гострого леза проводився поперечний розріз стебла кукурудзи заввишки 1,5...1,8 метра у його середній частині. За допомогою цифрового фотообладнання з високою роздільною здатністю проводилася зйомка поперечного розрізу (рис. 3.6). Далі фото виводилося на екран монітора та за допомогою графічної програми обводилася площа армуючого та основного матеріалу, потім проводилися обчислення, а значення заносилися до таблиць.



Рисунок 3.6 – До методики визначення площі поперечного розрізу армуючого та основного шару стебла

3.4. Методика дослідження продуктивності подрібнювача

Експеримент проводився так. За допомогою двигуна постійного струму та лабораторного трансформатора встановлювалася постійна швидкість стрічки транспортера, що подає 0,2 м/с. На стрічку рівномірним шаром укладалися такі маси кормових матеріалів: 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 кг на метр погонний, що відповідає наступній подачі матеріалу на подрібнення: 0,15; 0,20; 0,25; 0,30 кг/с (540; 720; 900; 1080 кг/год).

Маса матеріалу контролювалася за допомогою електронних ваг (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Ваги електронні, що використовуються при рівномірному укладанні подрібнюваного матеріалу на транспортер, що живить

Перед початком кожного досвіду проводилась синхронізація роботи транспортера, що подає та живить. Тривалість кожного досвіду – 1 хвилина. Тривалість дослідів контролювалася електронним секундоміром (див. рис.3.3, в). Секундне подання матеріалу на подрібнення контролювалася системою контролю маси ADAM-4016 (рис. 3.8).

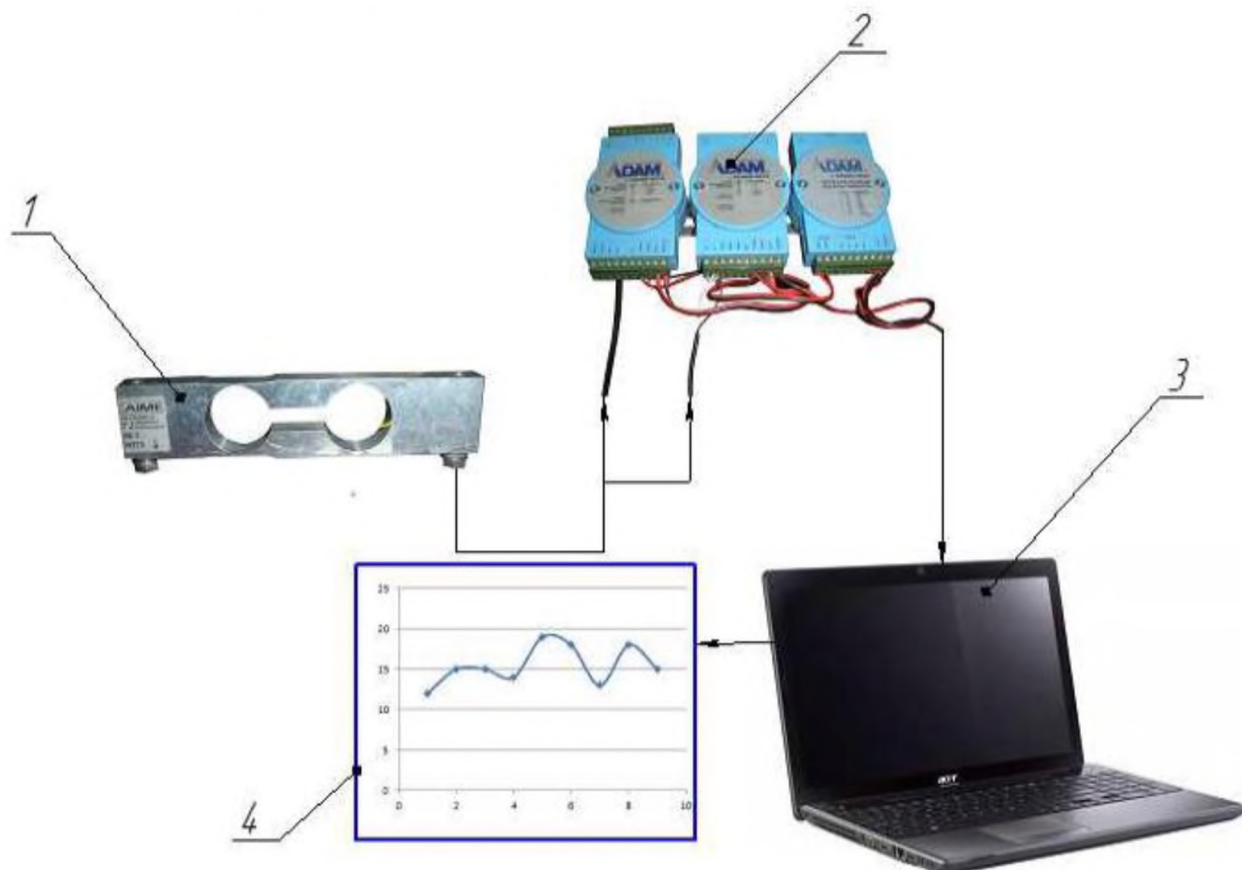


Рисунок 3.8 – Схема підключення датчика контролю маси та перетворювачів сигналу: 1 – датчик контролю маси; 2 – перетворювачі сигналу; 3 – ЕОМ; 4 – графічне відображення отриманого сигналу з датчика

Після завантаження транспортера, що подає, і синхронізації його роботи з поздовжнім транспортером подрібнювача проводилися такі дії:

- Встановлювалася певна кількість комбінованих ножів з ряду варіантів: 3, 6, 9 та 12 штук;
- Встановлювався певний зазор між верхніми та нижніми серпоподібними лезами комбінованих ножів із ряду варіантів: 10, 15, 20, 25, 30 мм;

- Встановлювалося решето у вивантажувальне вікно з квадратними отворами розміром: 30x30; 40x40; 50x50 мм;
- За допомогою клинопасової передачі встановлювалася одна з необхідних частот обертання робочого органу (870, 910, 950, 990, 1030 про/хв.);
- Включався привід робочого органу;
- Включався привід притискного та поздовжнього транспортерів;
- Включався привід транспортера, що подає, внаслідок чого грубі стеблинні корми подавалися на подрібнення.

У момент першого контакту ножа з подрібнюваним матеріалом включався секундомір. Після закінчення заданого часу досвіду загальною кнопкою STOP вимикався привід всіх пристроїв. Маса подрібненого матеріалу зважувалася, а отримані дані заносилися до журналу спостережень. Семикратна повторність у досвіді забезпечувала похибку трохи більше 5%.

3.5. Висновки до розділу 3

1. Для проведення експериментальних досліджень використовувалось існуюче та розроблене лабораторне обладнання.
2. Використовувались відомі та новорозроблені методики експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати дослідження механіко-технологічних властивостей

Для проведення адекватних розрахунків за розробленими моделями необхідно знати відповідні механіко-технологічні властивості подрібнюваних стебел. Результати дослідження статичного та динамічного коефіцієнтів тертя подрібнюваних стебел кукурудзи наведено у табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 - Результати дослідження статичного коефіцієнта тертя стебел кукурудзи

Матеріал, що труться	Матеріал поверхонь	Повторний дослід	Час руху зразка t, с	Відносна похибка експерименту, %	Значення динамічного коефіцієнту тертя f_d
Зовнішня оболонка стебла кукурудзи	Сталь	1	28	1,41	0,541
		2	28	1,41	
		3	28	1,41	
		4	29	2,11	
		5	29	2,11	
		Середнє значення	28,4	1,69	
Внутрішній матеріал розщепленого стебла кукурудзи	Сталь	1	26	1,56	0,449
		2	25	2,34	
		3	25	2,34	
		4	26	1,56	
		5	26	1,56	
		Середнє значення	26,5	1,88	

Усереднене значення статичного коефіцієнта тертя f_d для подрібненої маси стебел кукурудзи	0,35
--	------

Таблиця 4.2 - Результати дослідження динамічного коефіцієнта тертя стебел кукурудзи при куті установки сталеві похилої дошки $\beta = 30$ град та шляхи, який проходив зразок $S = 0,36$ м

Матеріал, що труться	Матеріал поверхонь	Повторний дослід	Кут β , град	Відносна похибка експерименту, %	Значення статичного коефіцієнту тертя f_c
Зовнішня оболонка стебла кукурудзи	Сталь	1	28	1,41	0,541
		2	28	1,41	
		3	28	1,41	
		4	29	2,11	
		5	29	2,11	
		Середнє значення	28,4	1,69	
Внутрішній матеріал розщепленого стебла кукурудзи	Сталь	1	26	1,56	0,449
		2	25	2,34	
		3	25	2,34	
		4	26	1,56	
		5	26	1,56	
		Середнє значення	26,5	1,88	

Усереднене значення статичного коефіцієнта тертя f_s для подрібненої маси стебел кукурудзи	0,510
--	-------

Як видно з таблиць, фрикційні властивості зовнішньої оболонки стебла кукурудзи та внутрішнього матеріалу розщепленого стебла суттєво відрізняються. У процесі подрібнення відбувається тертя стебел по робочому органу частинок як зовнішньою оболонкою, так і внутрішнім матеріалом, тому теоретичних розрахунках доцільно застосовувати усереднене значення коефіцієнтів тертя В авторитетних джерелах інформації вказані значення статичного (0,52-0,54) та динамічного (0,41-0,47) коефіцієнтів тертя для стебел кукурудзи. Однак дані значення отримані лише зовнішньої оболонки стебла. Знехтувати впливом на процес тертя різних матеріалів, з яких складається стебло кукурудзи не можна, це призведе до суттєвого розходження результатів теоретичних та експериментальних даних.

Збирання кукурудзи на зерно передбачає подрібнення незернової частини врожаю. Цю незернову частину врожаю (стебла та обмолочені стрижні початків) подрібнюють і залишають на полі як добриво, проте в умовах ресурсозберігаючих технологій дану подрібнену масу доцільно використовувати як корм для великої рогатої худоби. В Україні вологість стебел кукурудзи в момент її збирання на зерно знаходиться у інтервалі 18-30%. Отже, експериментальні дослідження доцільно проводити на стеблах кукурудзи з вологістю з наведеного вище за інтервал.

Отримані вище значення статичного та динамічного коефіцієнтів тертя визначалися при фіксованій вологості стебел кукурудзи. Результати експериментального дослідження вологості подрібнених стебел кукурудзи наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати експериментального дослідження вологості подрібнюваних стебел кукурудзи

№ досліджу	Вологість стебел, %	Відносна похибка експериментів, %
------------	------------------------	--------------------------------------

1	24,2	1,10
2	23,5	1,84
3	23,5	1,84
4	23,5	1,84
5	25,0	4,43
Середнє значення	23,94	2,21

Методика визначення співвідношення площ армуючого та основного шару матеріалу в поперечному розрізі стебла кукурудзи наведено у розділі 3.

Результати досліджень представлені у табл. 4.4. Вимірювання площ армуючого та основного шару проводилося при за допомогою програми Компас-3D (рис. 4.1). Вимірювання проводилися по середнього діаметра стебла.

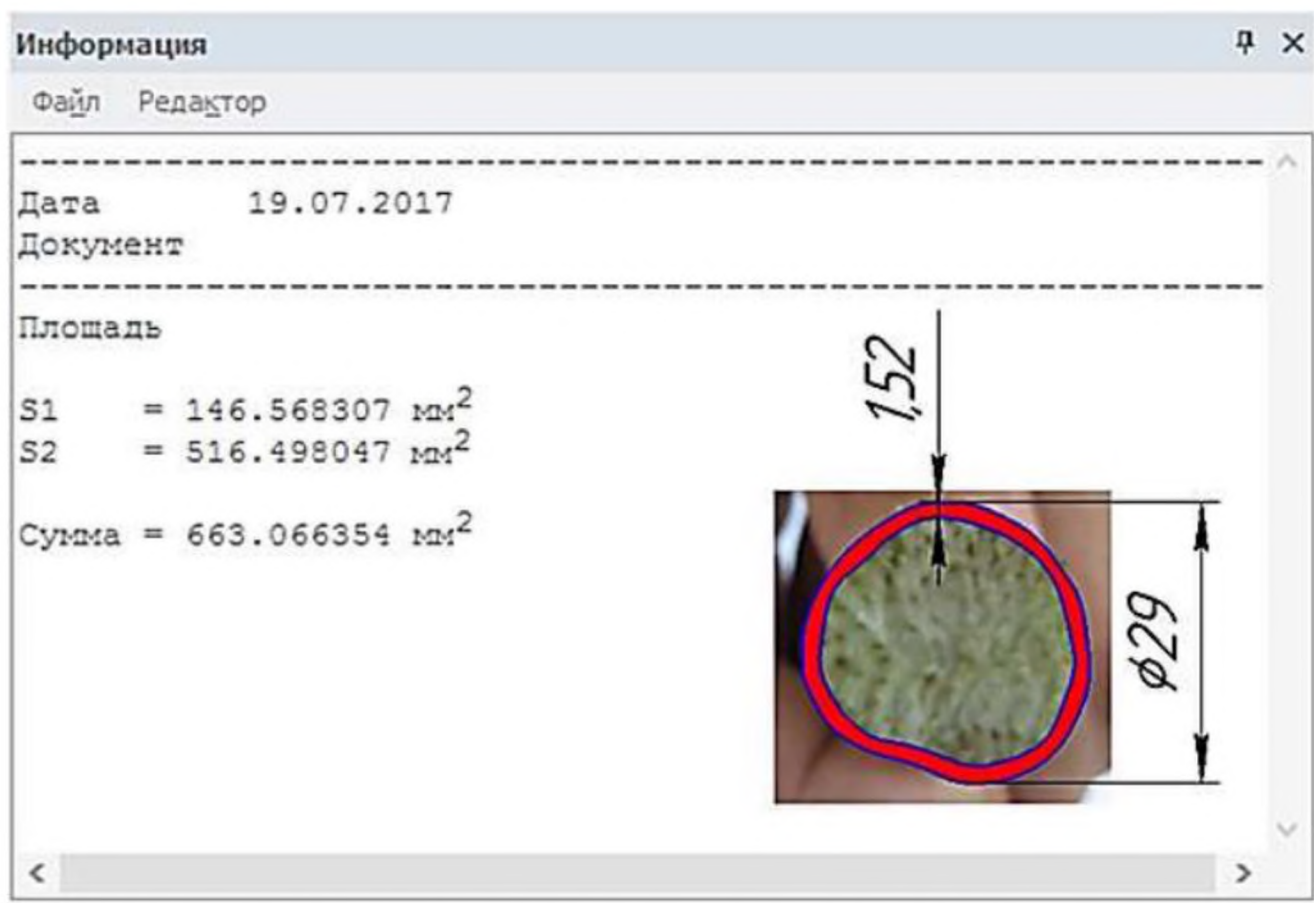


Рисунок 4.1 – Вимірювання площ армуючого та основного шару матеріалу в поперечному розрізі стебла кукурудзи за допомогою програми Компас-3D

Оскільки армуючі прожилки розташовані по периферії поперечного розрізу стебла, то в теоретичних розрахунках доцільно використовувати еквівалентну товщину шару прожилок, що дорівнює подвоєному значенню товщини приповерхневого премоаного шару в сумі з тонкою зовнішньою оболонкою.

Співвідношення площ армуючого та основного шару матеріалу в поперечному розрізі стебла кукурудзи доцільно визначити за середнім значенням вимірюваних величин. Отже, співвідношення площ становитиме 1:3,4. Оскільки будова стебла кукурудзи однаково по всій його довжині, а відрізняється лише діаметром, можна припустити, що отримане співвідношення справедливе для поперечного зрізу будь-якої висоти стебла.

Таблиця 4.4 - Результати дослідження поперечного розрізу стебла кукурудзи

Номер досліджу	Загальна площа поперечного перерізу армуючих прожилок стебла ΣS_{Π} , мм ²	Загальна площа поперечного перерізу основного матеріалу стебла ΣS_o , мм ²	Еквівалентна товщина шару прожилок h_i , мм	Товщина шару основного матеріалу h_i , мм
1	150,3	512,7	3,8	26,2
2	138,6	498,5	2,7	25,8
3	146,2	542,8	3,2	25,3
4	151,7	478,9	2,9	24,5
5	135,6	420,8	2,9	27,1
6	123,9	410,3	2,7	23,5
7	128,7	421,1	2,5	26,1
8	164,8	505,2	3,1	26,8
9	144,3	475,9	2,9	24,5
10	136,8	498,3	2,9	24,6
11	138,8	430,7	2,8	23,8
12	154,2	551,8	3,4	23,7
13	149,2	505,8	3,2	25,4
14	147,8	516,3	3,2	24,7
15	145,3	507,5	3,2	22,8
16	144,8	497,8	2,9	26,1
17	116,5	420,1	2,7	22,4
18	138,7	475,3	2,8	23,7
19	119,8	415,7	2,5	23,9
20	143,2	526,3	3,2	25,3
Ср.	140,96	480,59	2,98	24,81

4.2. Результати проведення експериментальних досліджень продуктивності подрібнювача

Метою даних досліджень було встановлення впливу частоти обертання робочого органу, кількості комбінованих ножів робочого органу та подачі матеріалу в подрібнювач на його продуктивність.

Під час проведення досліджень забезпечувалася подача 0,15; 0,20; 0,25 та 0,30 кг/с (540; 720; 900; 1080 кг/год). Встановлювалася частота обертання робочого органу 870, 910, 950, 990 та 1030 об/хв. Результати проведених експериментальних досліджень залежності продуктивності подрібнювача від частоти обертання робочого органу та кількості комбінованих ножів при різній подачі матеріалу на подрібнення наведено на рисунках 4.2-4.4.

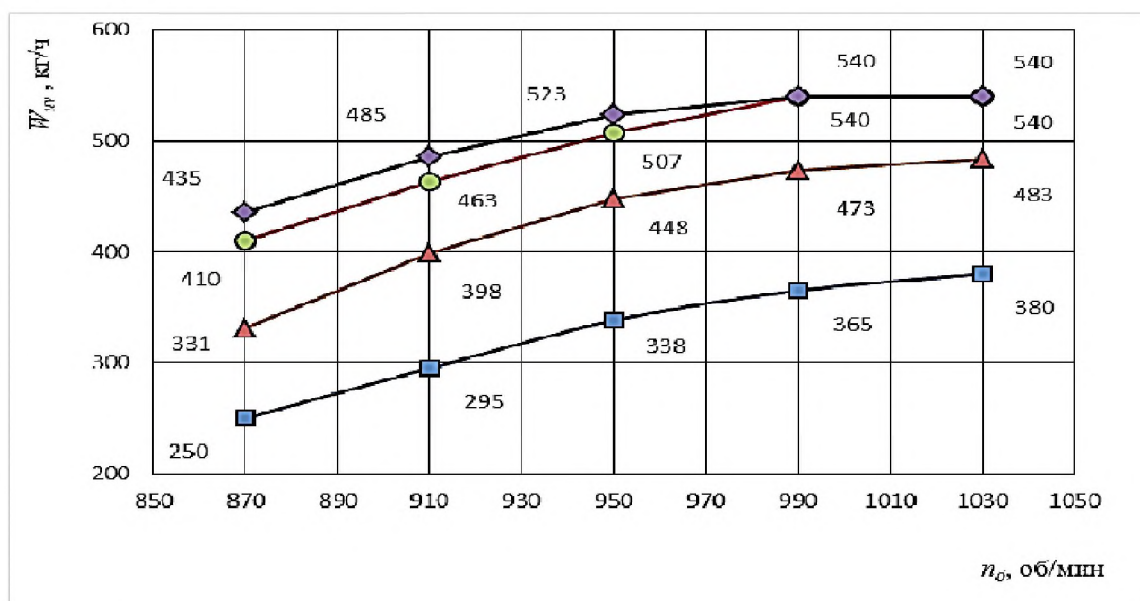


Рисунок 4.2 – Експериментальна залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання робочого органу та кількості комбінованих ножів при подачі стебел на подрібнення 0,15 кг/с (540 кг/год):

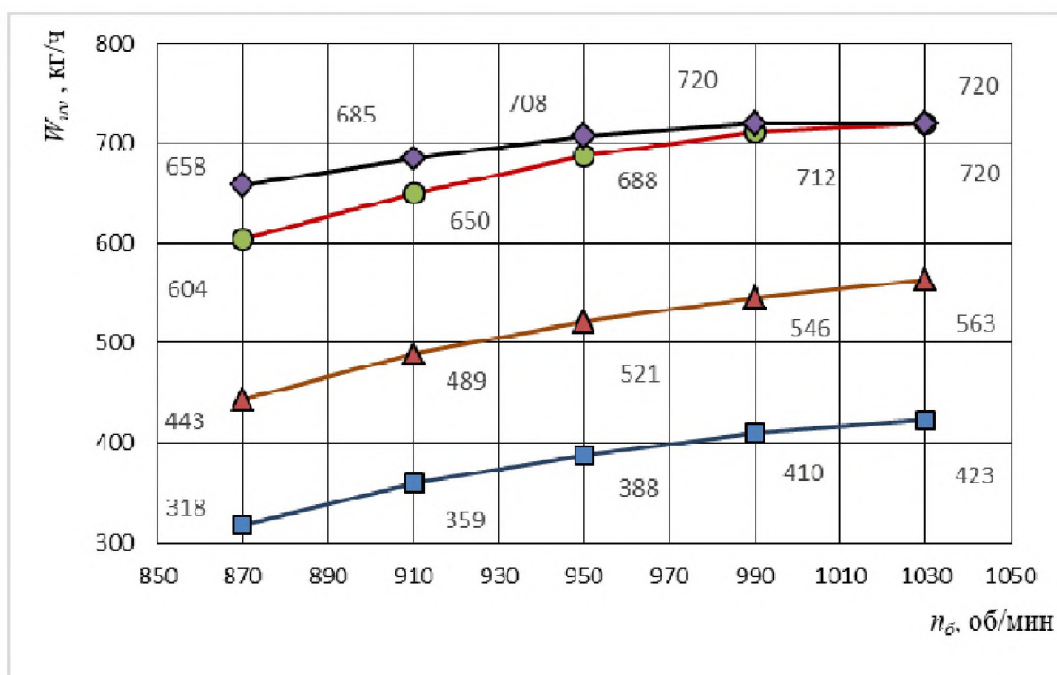


Рисунок 4.3 – Експериментальна залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання робочого органу та кількості комбінованих ножів при подачі стебел на подрібнення 0,20 кг/с (720 кг/год):

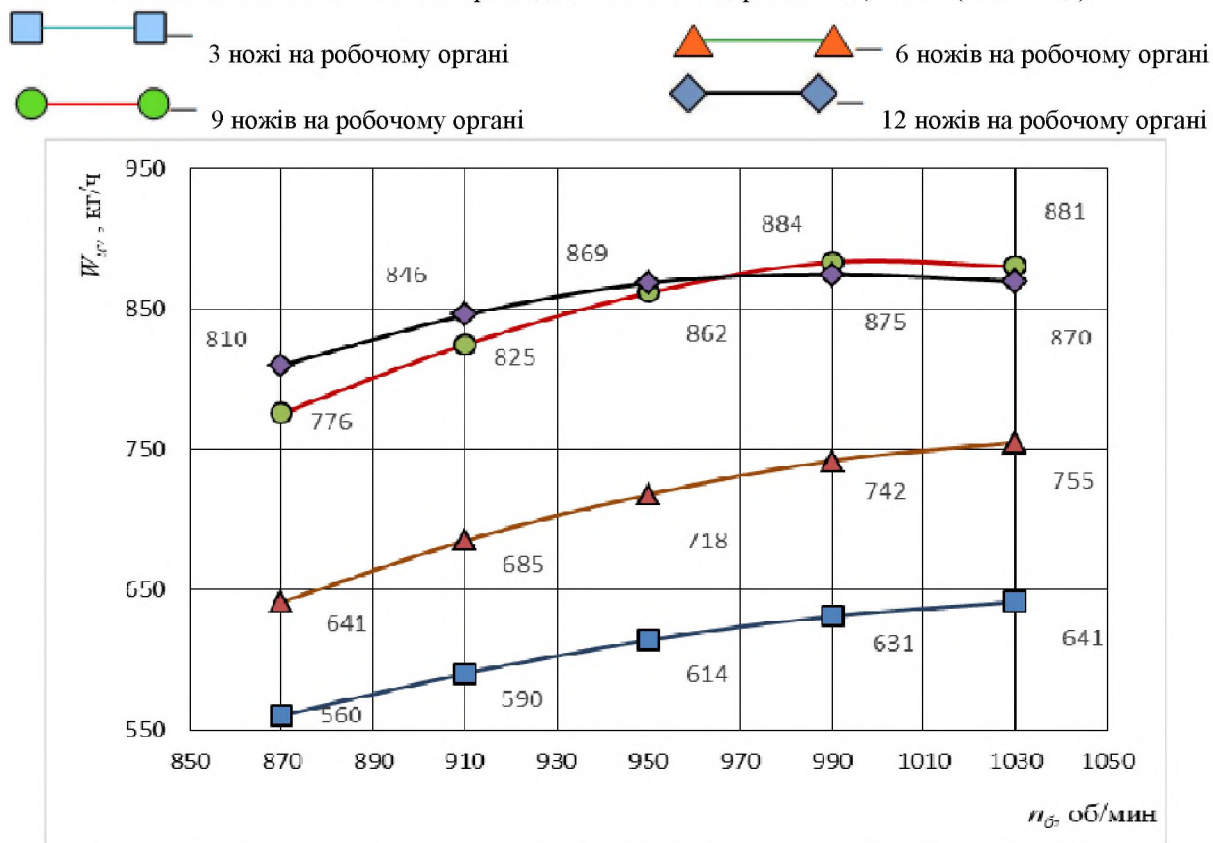
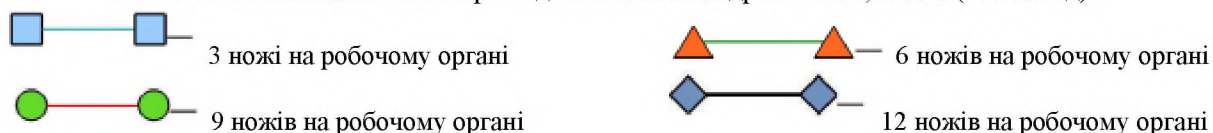


Рисунок 4.4 – Експериментальна залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання робочого органу та кількості комбінованих ножів при подачі стебел на подрібнення 0,25 кг/с (900 кг/год):



Як видно з наведених вище експериментальних залежностей, збільшувати подачу понад 0,25 кг/с (900 кг/год) недоцільно, оскільки навіть при такій подачі подрібнювач досягає своєї максимально можливої продуктивності 0,246 кг/с (884 кг/год). Виходячи з цього, експериментальні дослідження на подачі 0,30 кг/с (1080 кг/год) не проводили.

Аналіз отриманих експериментальних даних показав, що раціональна частота обертання робочого органу знаходиться в інтервалі 910-1030 об/хв. При даній частоті обертання робочого органу досягається максимальна продуктивність подрібнювача 825-884 кг/год, причому подрібнена маса повністю виводиться повітряним потоком у вивантажене отвір через спеціальне решето.

Збільшувати частоту обертання робочого органу вище 1030 об/хв. недоцільно, оскільки вже при даній частоті та подачі 0,25 кг/с настає дисонанс продуктивності

робочого органу та пропускну́ї спроможності решета. Внаслідок чого решето не може пропустити ту кількість подрібненої маси, що виробляє робочий орган. Виникає необхідність збільшення розміру комірки решета, а це призводить до неприпустимому збільшенню довжини січки, внаслідок чого отримана подрібнена маса відповідає зоотехнічним вимогам по довжині.

Також з графічних залежностей видно, що в раціональний інтервал частот (950-1030 об/хв) потрапляє режим роботи подрібнювача з дев'ятьма і дванадцятьма шарнірно підвішеними ножами. Визначити раціональне кількість ножів можна за показником витрат енергії на подрібнення.

Крім того, при частоті обертання робочого органу 1030 об/хв сила удару шарнірних ножів по стеблах, що подрібнюють, призводить до їх значного відхилення в радіальному напрямку, і другий ярус лез починає працювати неефективно; як наслідок, утворюється січка, довжина якої понад 50 мм. Січка такого розміру не може пройти осередки решета і потрапляє на доподрібнення, а це, у свою чергу, призводить до того, що подрібнюючий апарат не справляється з подачею та продуктивність падає.

На довжину січки, що отримується при подрібненні стебел, впливає зазор між поперечними серпоподібними лезами комбінованих ножів. Однак цей параметр нерозривно пов'язаний з подачею та частотою обертання робочого органу. Для спрощення пошукових експериментів при оцінці продуктивності подрібнювача було встановлено середнє значення зазору, яке склало 20мм. Зроблено припущення, що раціональне значення зазору можна отримати в результаті оптимізації методом планування та проведення багатофакторного експерименту. Крім того, у вивантажне вікно було встановлено решето із середнім розміром осередку 40x40 мм.

4.3. Висновки до розділу 4

1. Експериментальним шляхом встановлено такі механіко-технологічні характеристики подрібнюваних стебел кукурудзи:

- статичний коефіцієнт тертя зовнішньої оболонки досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,541;
- статичний коефіцієнт тертя внутрішнього матеріалу досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,449;
- усереднене значення статичного коефіцієнта тертя становить 0,510;
- динамічний коефіцієнт тертя зовнішньої оболонки досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,38;
- динамічний коефіцієнт тертя внутрішнього матеріалу досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,32;
- усереднене значення динамічного коефіцієнта тертя становить 0,35;
- співвідношення площ армуючого та основного шару матеріалу в поперечному розрізі стебла кукурудзи становить 1:3,4.

2. Внаслідок однофакторних експериментальних досліджень визначено наступні раціональні параметри нового подрібнювача грубих стебельчастих кормів:

- раціональна подача стебел кукурудзи на подрібнення 0,25 кг/с;
- раціональна частота обертання робочого органу 950-1030 об/хв;
- раціональна кількість комбінованих ножів на робочому органі 9 штук;
- раціональна продуктивність досліджуваного подрібнювача знаходиться у межах 825-884 кг/год;
- витрати потужності на подрібнення становлять 1055-1090 Вт/год;
- у раціональних умовах енергоємність процесу подрібнення становитиме 1,193-1,31 кВтг/т.

Наведені вище дані отримані в результаті проведення експериментів зі стеблами кукурудзи, середнє значення вологості яких становило 24%.

РОЗДІЛ 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

5.1. Методика проведення та обробки результатів багатофакторного експерименту

Оптимізація технологічного процесу подрібнення грубих стебельчастих кормів проводилася методом реалізації повного факторного експерименту (ПФЕ) із наступним планом дій.

1. Вибір оптимізації.
2. Вибір чинників, які впливають об'єкт дослідження.
3. Кодування факторів та вибір інтервалів їх варіювання.
4. Визначення числа повторних дослідів.
5. Рандомізація дослідів.
6. Складання матриці планування.
7. Проведення експерименту.
8. Розрахунок коефіцієнтів регресії математичної моделі.
9. Оцінка розсіювання результатів.
10. Перевірка однорідності дисперсії (критерій Кохрена).
11. Перевірка адекватності моделі (критерій Фішера).
12. Перевірка важливості коефіцієнтів регресії (критерій Стьюдента).
13. Побудова поверхонь відгуку та його аналіз.
14. Графоаналітичний аналіз результатів дослідження.

Кодування факторів [3, 15]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (5.1)$$

$$\varepsilon = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (5.2)$$

де X_i - кодоване значення фактора (безрозмірна величина), верхній рівень позначається +1, а нижній – 1 (у центрі нульовий рівень);

X_i – натуральне значення фактора (іменована величина в розмірності фактора);

X_{oi} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

ε – натуральне значення інтервалу варіювання фактора;

X_i^B – значення фактора на верхньому рівні;

X_i^H – значення фактора на нижньому рівні.

Для отримання математичної моделі експерименту було реалізовано трирівневий план Бокса-Бенкіна другого порядку. Для цього плану рівняння регресії має вигляд [3, 15]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (5.3)$$

де y – розрахункове значення критерію оптимізації;

x_i, x_j – кодове позначення факторів;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії.

Коефіцієнт b_0 , коефіцієнти при лінійних членах рівняння регресії b_i та коефіцієнти регресії при взаємодії факторів b_{ij} визначалися за формулами:

$$b_0 = \frac{\sum_{H=1}^N \bar{y}_H}{N}, \quad b_i = \frac{\sum_{H=1}^N x_{iH} \cdot \bar{y}_H}{N}, \quad b_{ij} = \frac{\sum_{H=1}^N x_{iH} \cdot x_{jH} \cdot \bar{y}_H}{N}, \quad (5.4)$$

де \bar{y}_H – середнє арифметичне значення критерію оптимізації у рядку;

N – кількість дослідів (кількість рядків у матриці експерименту);

x_{iH}, x_{jH} – нормовані значення факторів в H -му досвіді.

Оцінка розсіювання результатів дослідів та визначення дисперсії критерію оптимізації проводилися за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{H=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{iH} - \bar{y}_H)^2}{N \cdot (m - 1)}, \quad (5.5)$$

де y_{in} – значення критерію оптимізації у кожному з паралельних дослідів;
 m – число повторностей одного дослідів.

Перевірка однорідності дисперсії здійснювалася за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{\max \left[\sum_{i=1}^m (y_{in} - \bar{y}_n)^2 \right]}{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{in} - \bar{y})^2} \quad (4.6)$$

Однорідність дисперсії показує, що розсіювання результатів одного порядку. Перевірка адекватності моделі (перевірка придатності рівняння регресії для опису досліджуваного процесу) проводилася з допомогою оцінки дисперсії адекватності за F-критерієм Фішера:

$$F = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{y} - y_n)^2}{N - d} : \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^m (y_{in} - \bar{y}_n)^2}{N \cdot (m - 1)}, \quad (4.7)$$

де \hat{y} – обчислене за рівнянням регресії значення критерію оптимізації;
 d - Число членів рівняння регресії.

Перевірка значимості коефіцієнтів регресії здійснюється з допомогою t_i – критерію Стюдента:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{bi}}, \quad (4.8)$$

де S_{bi} - квадратична помилка коефіцієнта регресії.

У процесі подрібнення можна виділити параметри, що діють (фактори) та реакції на впливи (відгуки або критерії оптимізації).

Критерієм оптимізації процесу подрібнення грубих стеблових кормів є питома енергоємність \mathcal{E}_y :

$$\mathcal{E}_y = \frac{N_c}{W\lambda}, \text{ кВтч/т}, \quad (4.9)$$

де N_c - сумарна потужність процесу подрібнення, кВт;

W – продуктивність подрібнювача кормів, т/год;

λ – ступінь подрібнення кормів.

На підставі проведених теоретичних досліджень як факторів вибрано: частота обертання барабана – n_6 , об/хв; подача кормів у камеру подрібнення – q_c , Кг/с; зазор між серпоподібними лезами комбінованого ножа – h_4 , мм.

5.2. Результати дослідження технологічного процесу подрібнення грубих стеблових кормів методом планування багатofакторного експерименту

Для аналізу результатів експериментальних досліджень використовувалась ЕОМ. Для обробки дослідних даних використовувалися програми: Statistica 8 for Windows та Mathcad 15, за допомогою яких були розраховані коефіцієнти регресії, яким складено математичні моделі за кожним критерієм оптимізації як функцій відгуків від n_6 , q_c і h_4 . При оптимізації технологічних процесів подрібнення грубих стеблових кормів реалізовано трирівневий план Бокса-Бенкіна для трьох факторів У більшості досліджених літературних джерел з цієї тематики вчені та дослідники застосовували план другого порядку, оскільки процес складний, і при розрахунку значущими виявляються коефіцієнти регресії при фактори моделі, зведені в другий ступінь. Кодування факторів представлена в табл.5.1.

Згідно з загальноприйнятою методикою дослідження, довірча ймовірність $p=0,95$, а повторність досліді триразова. Досліди проводилися в послідовність зростання випадкових чисел (рандомізація досвіду).

Результати багатofакторного експерименту оброблені у програмному середовищі Statistica 8.0 для Windows [15]. Були перевірені однорідності дисперсій, статистична значимість коефіцієнтів регресії та адекватності моделей. В результаті статистичної обробки результатів багатofакторного експерименту було отримано рівняння регресії в розкодованому вигляді. Матриця планування багатofакторного експерименту, спрямованого на дослідження процесу подрібнення стеблових кормів.

Таблиця 5.1 – Кодування факторів та вибір інтервалів їх варіювання

Найменування	Значення		
Позначення факторів	X_1	X_2	X_3
Найменування фактор А	Частота обертання барабана, n_b , об/хв.	Подача кормів у камеру подрібнення, q_c , Кг/с.	Зазор між серпоподібними лезами ножа, h_4 , мм.
Базовий рівень	990	0,25	25
Інтервал варіювання	40	0,03	5
Верхній рівень фактор А	1030	0,28	30
Нижній рівень фактор А	950	0,22	20
Функція відгуку	У – енергоємність процесу подрібнення грубих та стеблових кормів, кВт · год /т		

На підставі значень розрахованих коефіцієнтів (див. табл. 5.2), рівняння регресії набуде вигляду:

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} = & 147,799219 - 0,264146 \cdot n_b + 0,000127 \cdot n_b^2 - 109,750000 \cdot q_c + \\
 & + 125,000000 \cdot q_c^2 - 0,213042 \cdot h_4 - 0,001400 \cdot h_4^2 + 0,045833 \cdot n_b \cdot q_c + \\
 & + 0,000112 \cdot n_b \cdot h_4 + 0,116667 \cdot q_c \cdot h_4, \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}.
 \end{aligned}
 \tag{4.10}$$

Дане рівняння регресії дозволяє оцінити вплив факторів на технологічний процес подрібнення грубих стеблових кормів та оптимізувати параметри подрібнювача. Для знаходження оптимальних значень факторів, що діють, необхідно вирішити рівняння (4.10).

Таблиця 5.3 - Результати розрахунку оптимальних значень факторів

Найменування фактора	n_6 , об/хв	q_c , кг/с	h_4 , мм.
Значення фактора	988	0,263	24
Енергоємність процесу подрібнення 1,08 кВт.ч/			

На основі отриманих даних за допомогою програми Statistica 8.0 [5] були побудовані двовимірні перерізи (рис. 5.1).

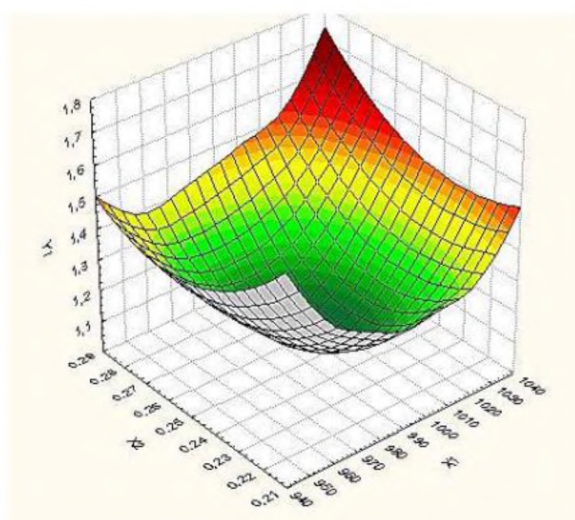
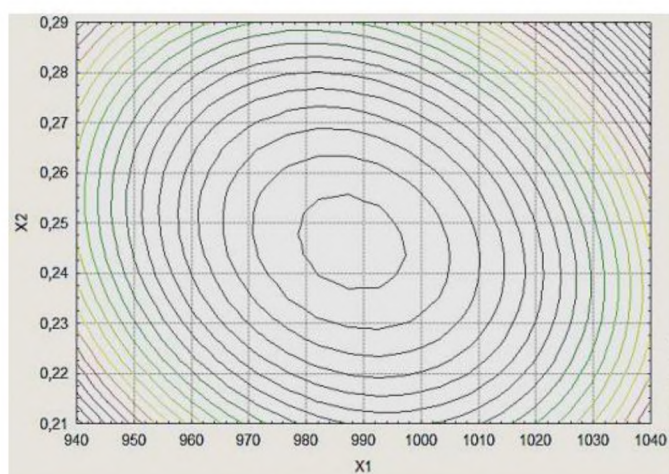
Поверхні відгуку та їх двомірні перерізи показують чітку область оптимуму, що дозволяє визначити потрібні значення факторів, що діють.

Проведений графоаналітичний аналіз математичної моделі з допомогою двомірних перерізів і рішення моделі Mathcad 15 показали оптимальне поєднання факторів, що вивчаються.

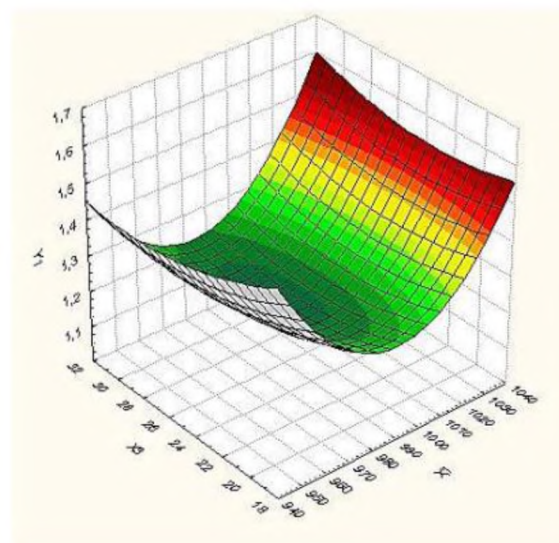
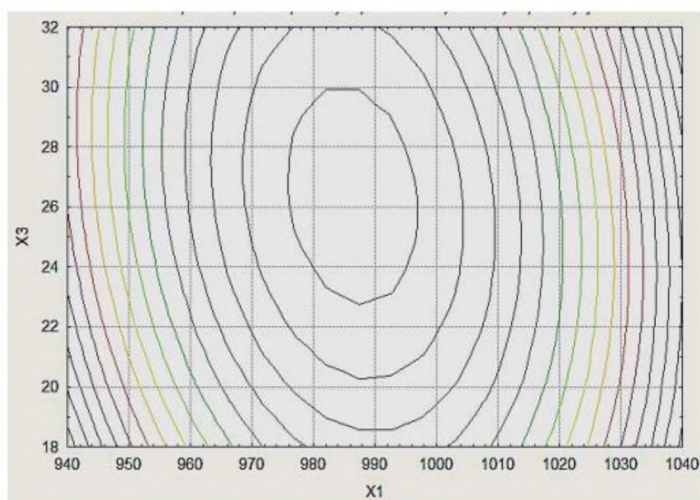
Найбільший вплив на енергоємність процесу подрібнення в запропонованому подрібнювачі надає подача стеблових кормів до робочого органу, про що свідчить максимальний коефіцієнт регресії.

Мінімально можлива питома енергоємність процесу подрібнення складає 1,08 кВт.ч/т. Теоретично визначено, що у раціональному інтервалі частот обертання робочого органу 950-1030 об/хв мінімальна питома енергоємність становить 1,1 кВтг/т., отже, розбіжність результатів теорії та експериментів з питомою енергоємності складає 1,8%, що вказує на те, що отримані в результаті теоретичних досліджень математичні висловлювання відображають дійсні явища, які у процесі подрібнення грубих стеблових кормів. Для порівняння слід зазначити, що промисловий подрібнювач РСС-6Б виробляє до 2,0 т/год січки грубих стеблинних кормів і при цьому він укомплектований двигуном 7,5 квт. Це значення потужності враховує запас, необхідний для подолання інерції при пуску та опір неодруженого

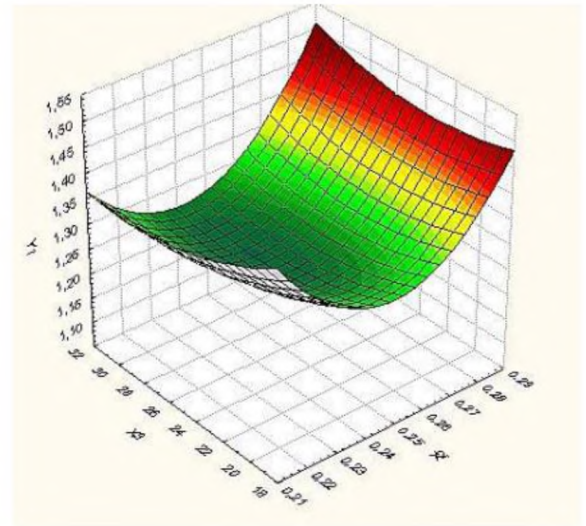
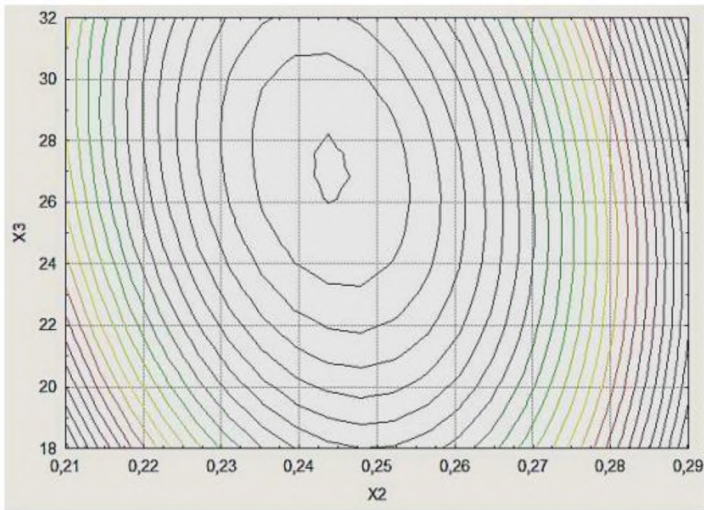
ходу робочого органу. Отже, повна енергоємність РСС6Б становить 3,75 кВтч/т. З урахуванням подолання інерції при пуску та опору холостого ходу робочого органу, запропонованого нами подрібнювача, його повна енергоємність становить 1,7 кВт/т. Зниження енергоємності становило 45,3%.



a



б



6

Рисунок 5.1 – Енергоємність процесу подрібнення грубих стеблових кормів при фіксованому значенні одного фактора: а) - X_3 ($h_4 = 24$ мм); б) - X_2 ($q_c = 0,263$ кг/с); в) – X_1 ($n_6 = 988$ об/хв)

5.3. Висновки до розділу 5

1. В результаті проведення та обробки результатів багатофакторного експерименту методом Бокса-Бенкіна отримана математична модель розкорованої форми (5.1), що адекватно описує процес подрібнення грубих стеблинних кормів новим робочим органом. Відповідно до даної моделі, найбільший вплив на енергоємність процесу надає подача стебел у подрібнювач.

2. Графоаналітичний аналіз математичної моделі за допомогою двовірних перерізів та розв'язання моделі показали оптимальне поєднання факторів, що вивчаються:

- частота обертання робочого органу 988 об/хв;
- подача компонентів у подрібнювач 0,263 кг/с;
- зазор між поперечними серпоподібними лезами комбінованих ножів 24 мм.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Підготовка кормів до згодовування проводиться з метою підвищення їх ефективності через поліпшення технологічних властивостей та швидку перетравлюваність. У існуючих конструкціях сучасних подрібнювачів грубих та стеблових кормів робочі органи здійснюють наступні види руху: поступальний, обертальний, зворотно-поступальний і коливальний.
2. Процес подрібнення грубих та стеблових кормів лезом називається різання. Виділяють три різновиди різання: нормальне (рубка), похилий і ковзний. Найбільший науковий інтерес представляє різання зі ковзанням, оскільки даний варіант технології відкриває можливості мінімізації витрат енергії (що є одним із напрямків даного дослідження).
3. Аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів показує доцільність розщеплення стебел молотками або штифтами при подрібненні, аналіз різальних апаратів, неодноразово проведений багатьма авторитетними вченими та дослідниками, показує ефективність ковзаючого різання ножем. Виходячи з вищесказаного слід, що з підвищення ефективності подрібнювача, необхідно використовувати обидва фактори.
4. Дослідження доводять можливість підвищення ефективності процесу подрібнення грубих кормів із міцним стеблом (наприклад, кукурудза, цукрове сорго, сорго-суданковий гібрид і т.д.) шляхом застосування робочого органу, що одночасно забезпечує ударний вплив на стебла та їх ковзне різання шарнірно підвішеними комбінованими ножами.
5. В даний час теорія подрібнення грубих стеблових кормів потребує розробки низки нових математичних моделей, адекватно описують процес руйнування стебел у камері подрібнення. Дані моделі мають дозволяти на етапі проектування безпомилково визначати оптимальні конструктивно-технологічні параметри нових подрібнювачів та режими їх роботи. Отримані на основі нових математичних моделей оптимальні конструктивно-технологічні параметри дозволять конструкторам подрібнювачів грубих стеблових кормів мати більш повну інформацію про

проектований об'єкт, що, як наслідок, підвищить ефективність їх розробки та виготовлення в умовах виробництва.

6. Процес подрібнення стебел запропонованим робочим органом являє собою відсікання частинок певної довжини з їх одночасним розщепленням на частини. Закономірності даних явищ визначено в результаті нових теоретичних досліджень, на підставі яких розроблено математичні моделі, що визначають продуктивність та витрати потужності на подрібнення, вперше враховують ефект розщеплення відсічених частинок стебла на частини при проходженні робочого органу крізь подрібнений шар стебел.

7. Для проведення експериментальних досліджень використовувалось існуюче та розроблене лабораторне обладнання. Використовувались відомі та новорозроблені методики експериментальних досліджень.

8. Експериментальним шляхом встановлено такі механіко-технологічні характеристики подрібнюваних стебел кукурудзи:

- статичний коефіцієнт тертя зовнішньої оболонки досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,541;
- статичний коефіцієнт тертя внутрішнього матеріалу досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,449;
- усереднене значення статичного коефіцієнта тертя становить 0,510;
- динамічний коефіцієнт тертя зовнішньої оболонки досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,38;
- динамічний коефіцієнт тертя внутрішнього матеріалу досліджуваних стебел кукурудзи має значення 0,32;
- усереднене значення динамічного коефіцієнта тертя становить 0,35;
- співвідношення площ армуючого та основного шару матеріалу в поперечному розрізі стебла кукурудзи становить 1:3,4.

9. Внаслідок однофакторних експериментальних досліджень визначено наступні раціональні параметри нового подрібнювача грубих стебельчастих кормів:

- раціональна подача стебел кукурудзи на подрібнення 0,25 кг/с;
- раціональна частота обертання робочого органу 950-1030 об/хв;

- раціональна кількість комбінованих ножів на робочому органі 9 штук;
- раціональна продуктивність досліджуваного подрібнювача знаходиться у межах 825-884 кг/год;
- витрати потужності на подрібнення становлять 1055-1090 Вт/год;
- у раціональних умовах енергоємність процесу подрібнення становитиме 1,193-1,31 кВтг/т.

Наведені вище дані отримані в результаті проведення експериментів зі стеблами кукурудзи, середнє значення вологості яких становило 24%.

10. В результаті проведення та обробки результатів багатофакторного експерименту методом Бокса-Бенкіна отримана математична модель розкодованій формі (5.1), що адекватно описує процес подрібнення грубих стеблинних кормів новим робочим органом. Відповідно до даної моделі, найбільший вплив на енергоємність процесу надає подача стебел у подрібнювач.

11. Графоаналітичний аналіз математичної моделі за допомогою двомірних перерізів та розв'язання моделі показали оптимальне поєднання факторів, що вивчаються:

- частота обертання робочого органу 988 об/хв;
- подача компонентів у подрібнювач 0,263 кг/с;
- зазор між поперечними серпоподібними лезами комбінованих ножів 24 мм.