

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ  
Гарант освітньої програми  
«Обладнання переробної і харчової  
промисловості»  
Хорольський В.П.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»  
на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ**  
**ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ**  
**СИРОВИНИ»**

Виконав:  
здобувач вищої освіти Соколовський Олександр Олександрович  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: доцент, к.п.н., Цвіркун Л.О.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кривий Ріг  
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання  
переробної і харчової промисловості»  
Хорольський В.П.

«    »                                  2023 року

**З А В Д А Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Соколовському Олександрю Олександровичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини»

Керівник роботи к.п.н., Цвіркун Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від « 02 » травня 2023 р. № 69-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 24 » листопада 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Аналітичний огляд обладнання для подрібнення рослинної сировини.

3. Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини.

4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Технологічні схеми обладнання для подрібнення рослинної сировини.

Конструкції робочих органів подрібнювачів рослинної сировини.

Конструкційно-технологічні характеристики подрібнювача рослинної сировини з барабанним типом робочого органу.

Узагальнена структура системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень.

Моделювання процесу подрібнення рослинної сировини.

Моделювання етапів подрібнення рослинної сировини.

6. Дата видачі завдання «1» вересня 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2023 р.
2	Аналітичний огляд обладнання для подрібнення рослинної сировини.	21.09-18.10.2023 р.
3	Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини.	19.10-08.11.2023 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2023 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2023 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2023 р.

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

(підпис)

Соколовський О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 52 сторінки, в тому числі основного тексту – 42 сторінки. Робота містить: 3 таблиці, 25 рисунків. Список використаних джерел складається з 12 найменувань.

Об'єкт роботи – обладнання для подрібнення рослинної сировини.

Предмет роботи – автоматизоване управління процесом подрібнення рослинної сировини.

Мета роботи – визначення найефективніших конструкцій подрібнювачів рослинної сировини та удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання.

У роботі зазначено, що процес подрібнення посідає важливе місце, оскільки саме подрібнення є найбільш енергоємною операцією. Для подрібнення рослинної сировини застосовуються різні машини та агрегати. Однак більшість із них не забезпечує регламентованої вимогами до ступеня подрібнення і мають дуже велику енергоємність процесу. На основі аналізу було визначено, що для подрібнення найбільш перспективним є барабанний тип робочого органу, оскільки він добре узгоджений з пристроєм живлення і дозволяє ефективно застосовувати декілька ножів різної конфігурацій.

Вважається, що саме ковзне різання є найбільш перспективним, оскільки даний вид подрібнення реалізується в барабанних подрібнювачах, не вимагає застосування складних робочих органів і дозволяє зменшити енергоємність процесу подрібнення за рахунок раціонального розподілу сил, що діють на подрібнювальне стебло рослинної сировини.

Акцентовано увагу на тому, що основу виробництва становлять технологічні процеси різного призначення. Автоматизація харчової промисловості – це можливість оперативно отримувати виробничу інформацію, аналізувати технологічні дані, своєчасно унеможливити ризики у процесі виробництва. Функціональна автоматизована система забезпечує аналіз даних, своєчасне виявлення відхилень значень. Комплексна автоматизована система управління підприємством харчової промисловості досягається за рахунок тісної інтеграції кількох програм та підсистем.

Зазначено, що рослина сировина, що підлягає подрібненню може попадати на конвеєрний транспортер в неякісному вигляді. Тому було запропоновано узагальнену структуру системи візуального контролю потоку подрібненої рослинної сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень, задля вилучення неякісних зразків. Стебла кукурудзи, які могли попасти на конвеєрну стрічку невідповідної якості за допомогою відеоспостереження розпізнаються за допомогою цифрової обробки зображень та підглядають вилученню із загального потоку, що уможливлює отримання подрібненої сировини однорідної якості. Здійснено моделювання процесу подрібнення рослинної сировини.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** подрібнювачів, рослинна сировина, конструкційно-технологічні параметри обладнання, автоматизація.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	7
1.1 Робочі органи подрібнювачів рослинної сировини	7
1.2 Види різання стеблової рослинності	11
1.3 Обладнання для подрібнення рослинної сировини	14
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ	20
2.1 Конструктивно-технологічні параметри подрібнювача рослинної сировини з барабанним типом робочого органу	20
2.2 Узагальнена структура системи візуального контролю подрібнення рослинної сировини із застосуванням технічних засобів	26
2.3 Моделювання процесу подрібнення рослинної сировини	30
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	36
3.1 Етапи подрібнення рослинної сировини	36
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	42
ДОДАТКИ	43

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Соколовський</i>			<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					1	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** У роботі зазначено, що процес подрібнення посідає важливе місце, оскільки саме подрібнення є найбільш енергоємною операцією. Для подрібнення рослинної сировини застосовуються різні машини та агрегати. Однак більшість із них не забезпечує регламентованої вимогами до ступеня подрібнення і мають дуже велику енергоємність процесу. Крім того, багато подрібнювачів незручні в експлуатації та недостатньо надійні. Низька універсальність більшості існуючих подрібнювачів не дозволяє широко використовувати їх при подрібненні різноманітної сировини, бо багато з яких мають міцне стебло.

**Мета та задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є визначення найефективніших конструкцій подрібнювачів рослинної сировини та удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання.

**Практична та наукова новизна.** На основі аналізу було визначено, що для подрібнення найбільш перспективним є барабанний тип робочого органу, оскільки він добре узгоджений з пристроєм живлення і дозволяє ефективно застосовувати декілька ножів різної конфігурацій. Зазначено, що саме ковзне різання є найбільш перспективним, оскільки даний вид подрібнення реалізується в барабанних подрібнювачах, не вимагає застосування складних робочих органів і дозволяє зменшити енергоємність процесу подрібнення за рахунок раціонального розподілу сил, що діють на подрібнювальне стебло рослинної сировини.

Акцентовано увагу на тому, що основу виробництва становлять технологічні процеси різного призначення. Автоматизація харчової промисловості – це можливість оперативно отримувати виробничу інформацію, аналізувати технологічні дані, своєчасно унеможливити ризики у процесі виробництва. Функціональна автоматизована система забезпечує аналіз даних, своєчасне виявлення відхилень значень. Комплексна автоматизована система управління підприємством харчової промисловості досягається за рахунок тісної інтеграції кількох програм та підсистем.

Зазначено, що рослина сировина, що підлягає подрібненню може попадати на конвеєрний транспортер в неякісному вигляді. Тому було запропоновано узагальнену структуру системи візуального контролю потоку подрібненої рослинної сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень, задля вилучення неякісних зразків. Стебла кукурудзи, які могли попасти на конвеєрну стрічку невідповідної якості за допомогою відеоспостереження розпізнаються за допомогою цифрової обробки зображень та підглядають вилученню із загального потоку, що уможливорює отримання подрібненої сировини однорідної якості. Здійснено моделювання процесу подрібнення рослинної сировини.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Соколовський</i>			<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					1	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

# РОЗДІЛ 1

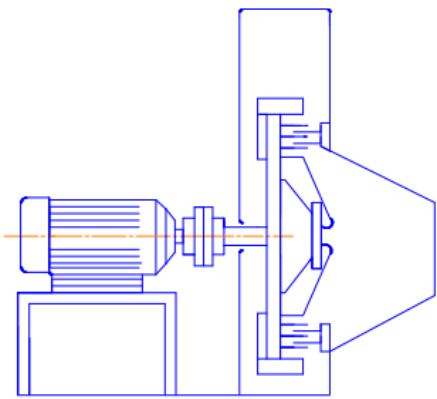
## АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

### 1.1 Робочі органи подрібнювачів рослинної сировини

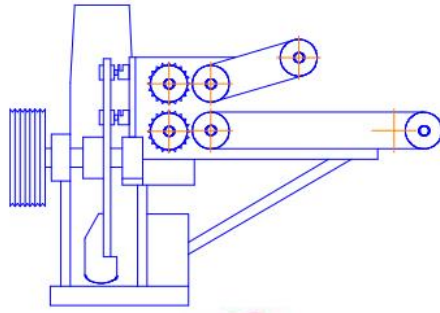
Процес подрібнення займає важливе місце, оскільки саме подрібнення є найбільш енергоємною операцією. Для подрібнення грубої рослинної сировини застосовуються різні машини та агрегати, які матеріаломісткі та габаритні. Крім того, багато подрібнювачів незручні в експлуатації та недостатньо надійні. Низька універсальність більшості існуючих подрібнювачів не дозволяє широко використовувати їх при подрібненні різноманітної рослинної сировини, бо багато з яких мають міцне стебло.

Більшість обладнання не забезпечує регламентованої вимогами до ступеня подрібнення і мають дуже велику енергоємністю процесу. Тому дослідження спрямоване на визначення найефективніших конструкцій подрібнювачів грубих стеблових кормів та шляхів удосконалення їх робочих органів.

Таблиця 1.1 Класифікація робочих органів подрібнювачів рослинної сировини

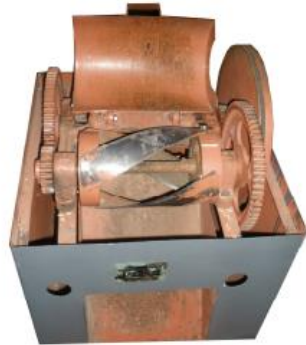
Тип робочого органу	Застосування
 <p style="text-align: center;">Штрифтовий</p>	<p>Подрібнення стебел, використовуючи процеси зламу, розриву та перетирання при їх вологості до 40%</p>

<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Соколовський		
Перевір.		Цвіркун		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Хорольський		
<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			13	52
<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				



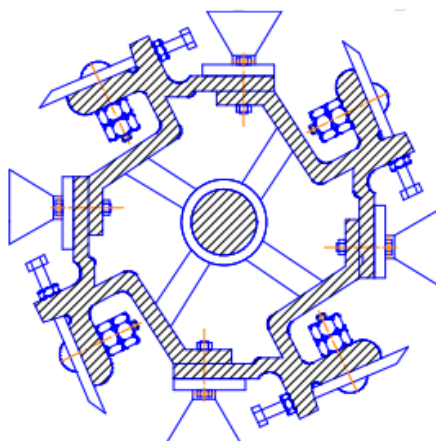
З ножами, закріпленими на крильчатці

Подрібнення стебел та соковитих кормів, використовуючи різання та розщеплення частинок з метою отримання м'якої маси



Барабанний

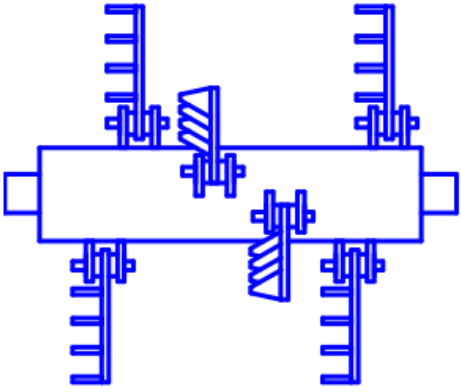
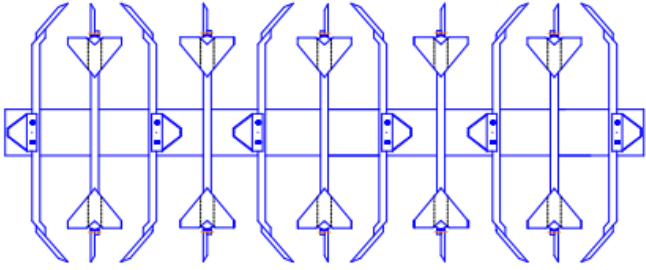
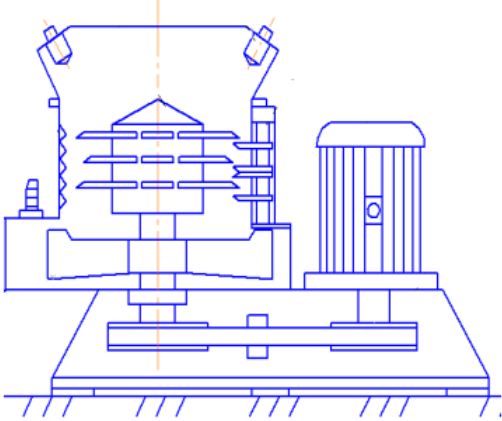
Подрібнення стебел з регульованою довжиною різання без розщеплення вздовж волокон



Подрібнення стебел різанням і розщеплення частинок з метою отримання м'якої маси

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



3 поздовжньо-поперечним різанням	
 <p>3 багатоплощинним робочим органом</p>	<p>Робочий орган забезпечує гарну якість подрібнення: частинки завдовжки 20 – 50 мм становлять 85,7%, а розщеплені частинки перевищують 97%</p>
 <p>Фрезбарабан</p>	<p>Уявляє собою циліндр на поверхні якого прикріплені по гвинтовій лінії Г-подібні ножі</p>
 <p>Вертикальний ножовий барабан</p>	<p>Вертикальний барабан з декількома рядами ножів, подрібнює корм за допомогою взаємодії з протирізами</p>

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. Також із аналізу видно, що 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, рис. 1.1.

Шарнірні ножі класифікують за кількістю лез на ножі, можливості руху навколо осі підвісу, за розташуванням центру тяжкості, за способом створення повітряного потоку, формою заточування тощо. За кількістю лез на ножі шарнірні ножі виконують з одним лезом (рис. 1.1, а), з двома спареними лезами (рис. 1.1, б) і взагалі без лез (рис. 1.4, в) як молотки. При виконанні ножів зі спареними лезами метою є зниження маси барабана за рахунок зменшення кількості несучих дисків. Однак однолезові ножі більш технологічні у виробництві, експлуатації, ремонті. Вони допускають використання чотирьох ріжучих кромek за рахунок їхнього повороту. Ножі без лез (рис. 1.1, в) здійснюють подрібнення соломистої маси тільки при взаємодії з ріжучим пристроєм. У цих ножах не використовується ефективно удар влітку при захопленні соломи.

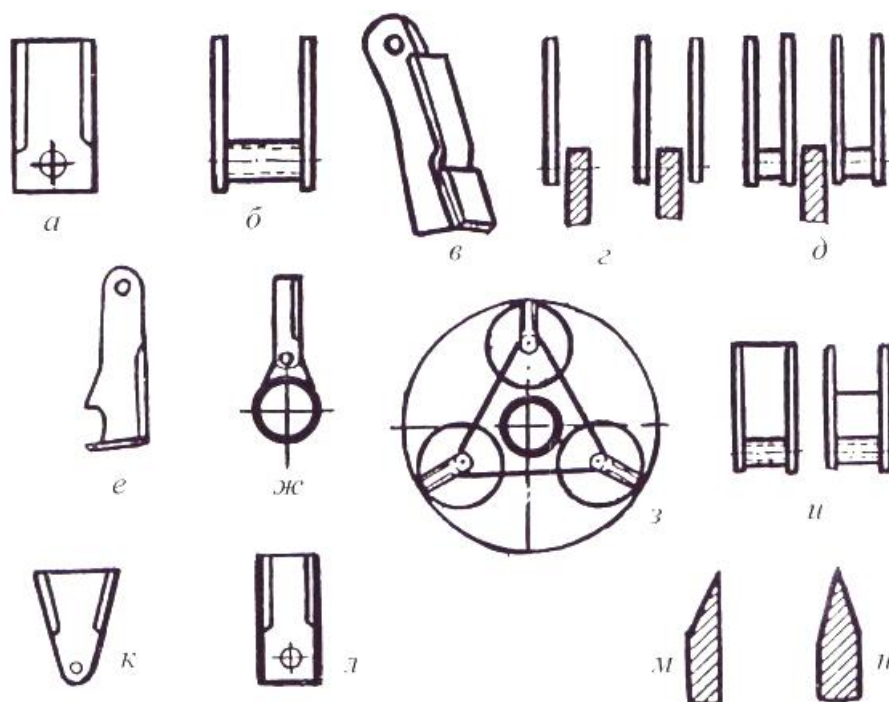


Рисунок 1.1 – Різновиди конструкцій шарнірних ножів подрібнювальних апаратів до зернозбиральних комбайнів

Ножі розрізняються також за розташуванням відносно несучого диска. Вони можуть встановлюватися з асиметричним розташуванням щодо диска (рис. 1.1, г) та симетричним (рис. 1.1, д). 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 (рис. 1.1, д) та жорстким зв'язком [1, 2, 6]. 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 (рис. 1.1, е) та з лезами, розташованими перпендикулярно осі (рис. 1.1, а).

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 (рис. 1.1, ж) і з круговим обертанням (рис. 1.1, з). 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 (рис. 1.1, і) і без них. 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 кромки або тільки на ділянці, що не входить у протиріжучий пристрій.

За розташуванням центру тяжкості ножі виконують зі зміщенням його до периферії ножа (рис. 1.1, к) та з розташуванням у зоні геометричній точки симетрії ножа (рис. 1.1, л). При зміщенні центру важкості ножа має на меті поліпшення його ріжучих властивостей. За формою заточування лез ножі виконують з одностороннім заточуванням (рис. 1.4, м) та двостороннім (рис. 1.4, н). 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.

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 стебельчастих кормів робочі органи здійснюють наступні види руху: поступальний, обертальний, зворотно поступальний і коливальний.

Процес подрібнення грубих та стебельчастих 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.

## 1.2 Види різання стеблової рослинності

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  $\tau$ , утвореним нормаллю до ріжучої кромки та напрямом дії сили  $P_p$ . Між видами різання існує тісний зв'язок і в міру збільшення  $\tau$  вони переходять один до одного. Так, при  $\tau = 0$  вид різання

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормальний, при  $0 < \tau < \varphi$  – нормально-дотичний без ковзання,  $\tau \geq \varphi$  – нормально-дотичний з ковзанням.

Слід зазначити, що кут  $\tau$  визначає не лише вид різання, а й 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  $\tau$ , рис. 1.2.

Для робочого процесу ріжучого апарату важливе значення мають такі чинники: ковзання ножа; затискання матеріалу; питома робота різання; фізико-механічні властивості матеріалу; робоча швидкість ножа, геометричні параметри ножа, зазор у ріжучій парі. Необхідною умовою забезпечення нормального перебігу процесу різання є затискання матеріалу між лезом і протиріжучою пластиною.

Процес подрібнення грубих та стебельчастих 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).

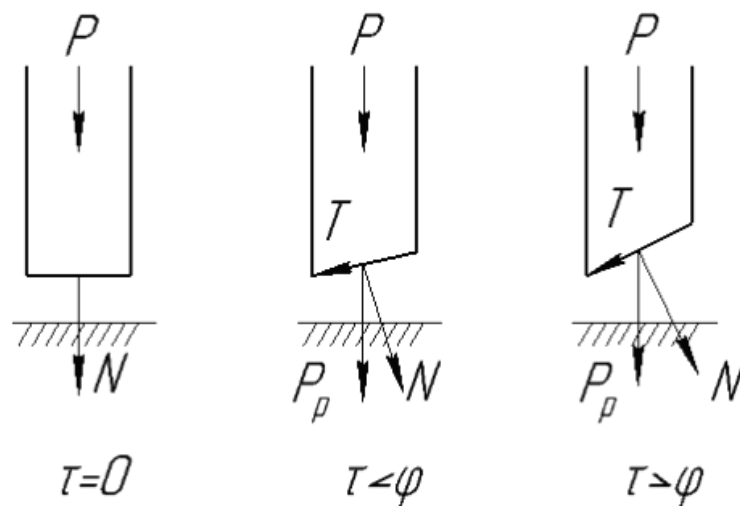


Рисунок 1.2 – Види різання стебельчастих матеріалів

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. Схема сил, що діють на ніж при нормальному різанні, представлена на рис. 1.3.

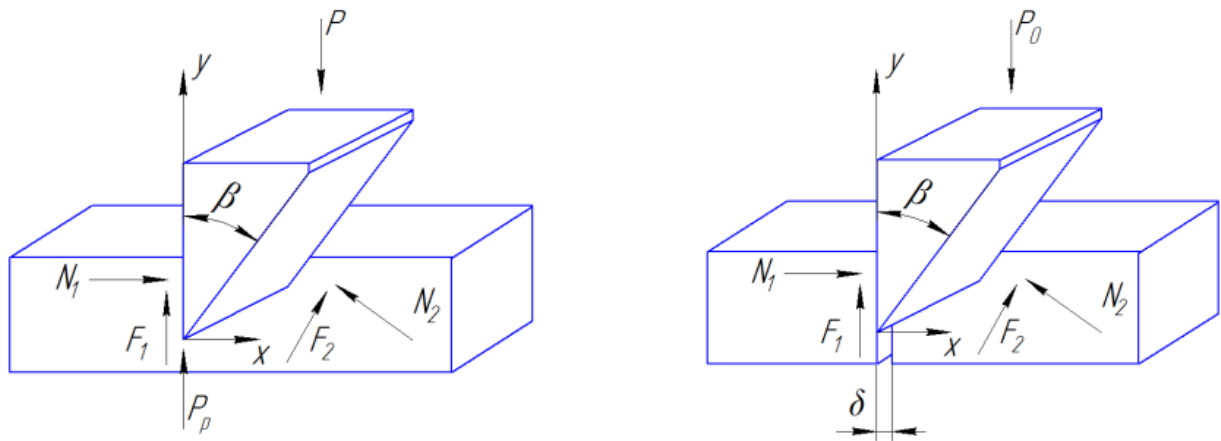


Рисунок 1.3 – Схема сил, що діють на ніж при нормальному різанні

При дії ножа на шар матеріалу 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 різання лезом  $P_p$ .

Нормальне різання характеризується тим, що сили  $P$  та  $P_0$  перпендикулярні до осі шару. При швидкостях різання, незначних 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 відбувається майже одночасно.

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. Розглянемо схему сил, що діють на ніж при ковзному різанні.

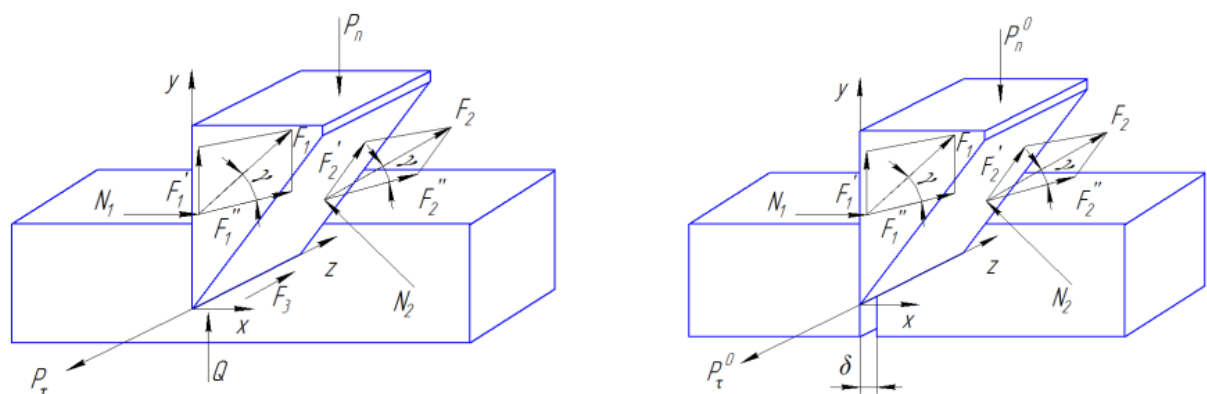


Рисунок 1.4 – Схема сил, що діють на ніж при ковзному різанні

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При дії ножа на шар матеріалу 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  $Q$ .

Для робочого процесу подрібнювачів грубих кормів основне значення мають такі параметри, як нормальний тиск ножа на матеріал та бічний ковзний рух ножа. Кількісне співвідношення між цими параметрами характеризується значеннями коефіцієнта ковзання та коефіцієнта ковзного різання.

Для подрібнення грубих стебельчастих 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.

Для подрібнення грубих стеблових кормів найбільше перспективним є ковзне різання, оскільки даний вид подрібнення, реалізований в ефективних барабанних подрібнювачах, не 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.

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

### 1.3 Обладнання для подрібнення рослинної сировини

Інструменти, що використовуються для подрібнення та приготування кормів, типи подрібнювальної машини та використовувані ножі для подрібнення рослинної сировини різноманітні. Схема дрібного подрібнювача та змішування кормів наведено на рис. 1.5. Пристрій складається з бункера подачі 1, передавача 3, горизонтального подрібнювача 4, камери подрібнення 5, бункера концентратів 6, камери змішування кормів 7, барабанного змішувача 8, різця 9 і вихідного стрижня 10.

При збільшенні частоти обертання ротора від 900 до 1350 об/хв якість подрібнення стебел починає швидко зростати з 81,5 до 97,0%, тобто в межах цієї частоти обертання ротора загальна кількість подрібнених стебел складається з сегментів довжиною 3-5 см.

Однак подальше збільшення частоти обертання ротора (до 1500 об/хв) призвело до того, що якість подрібнення стебел починає погіршуватися. Це пояснюється тим, що збільшення частоти обертання ротора понад 1350 об/хв призводить до збільшення кількості подрібнених стебел довжиною до 3 см, що неприпустимо [1, 7, 9]. Так, при частоті обертання ротора від 1200 до 1350 об/хв стебла подрібнені якісно, тобто повністю відповідають початковим вимогам. Водночас розщеплення стебел становить 83,5-94,0%, що також відповідає вихідним вимогам. Це означає, що при однакових подачах зі збільшенням

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

частоти обертання ротора кратність ударів молотком по стеблах збільшується, що, природно, є причиною збільшення розмірів стебла та їх розщеплення.

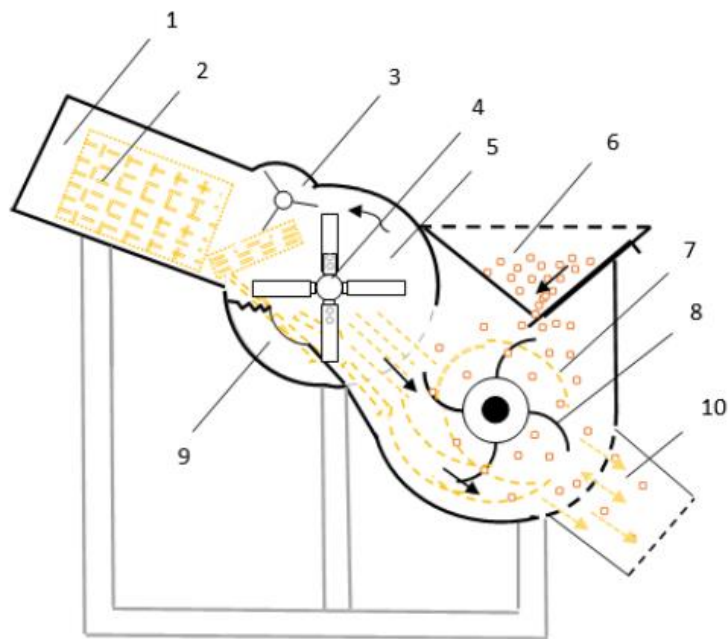


Рисунок 1.5 – Технологічна схема обладнання для подрібнення рослинної сировини

На рис. 1.5 зображено: 1 – бункер, 2 – пресована солома, 3 – передавач, 4 – подрібнюючий ротор, 5 – камера подрібнення, 6 – кормовий бункер, 7 – камера змішування, 8 – барабанний змішувач, 9 – протилежащий різець, 10 – вихід готової продукції.

Для вибору оптимального типу ножів-подрібнювачів дослідниками було проведено порівняльні аналізи різних типів рубальних ножів. Під час випробувань порівнювали три типи ножів-подрібнювачів. Критеріями оцінки при виборі оптимального типу ножів були якість нарізки стебла та їх розщеплення. Було видно, що якість роботи для порівнюваних типів ножів-подрібнювачів неоднакова. Залежно від типу ножів, подрібнена фракція довжиною 30-50 мм 68,6–82,0 %, фракція довжиною понад 50 мм – 3,3– 26,3%, а фракції менше 30 мм – 5,1–14,7%. Розщеплення стебел коливається від 78,9% до 94,7%. Залежно від типу ножів-подрібнювачів продуктивність коливається в широкому діапазоні.

На основі дослідження конструкції та технологічних процесів роботи різних типів шліфувальних машин, які використовуються при грубому помелі комбікормів, наступна технологічна схема вдосконаленого пресованого грубого корму була розроблена шліфувальна машина, рис. 1.6.

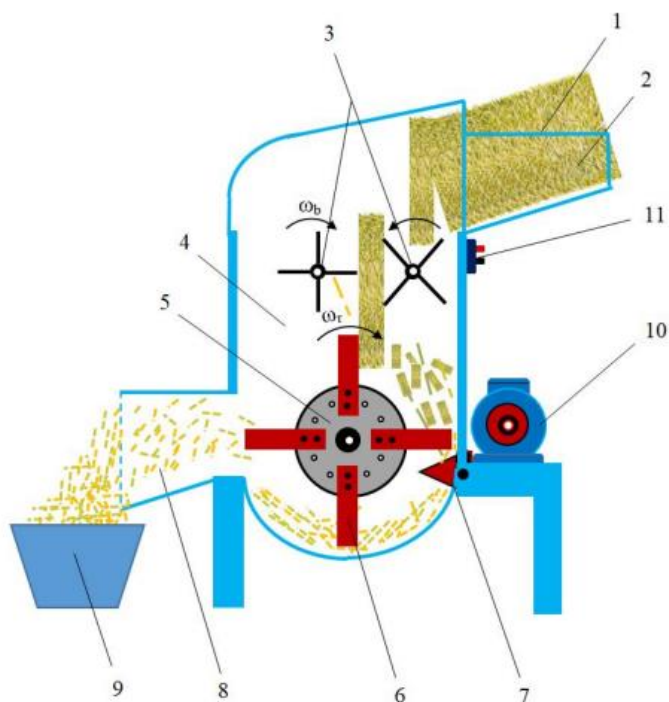


Рисунок 1.6 – Технологічна схема подрібнювальна рослинної сировини

На рис. 1.6 позначено: 1 – пресований грубий корм; 2 – лінія електропередачі; 3 – стандартні передачі; 4 – шліфувана камера; 5 – ротор; 6 – шліфувальні леза; 7 – фіксовані леза; 8 – вихідний канал продукту; 9 – сировина; 10 – електродвигун; 11 – пульт дистанційного відключення.

Технологічна робота пристрою полягає в наступному: пресований грубий корм призначений для подрібнення 1 вільно переміщується через передавальний жолоб 2 і падає на передавальний бітер 3. Перша пара конвеєрів кусачки 3 відокремлюють необхідну кількість шматків від пресованого грубого корму, що надходить, за допомогою його пластин і за допомогою другої пари кусачок, що обертаються назустріч собі; він передає корм до дробильної камери 4 з певною швидкістю.

Грубі корми, що надходять у камеру подрібнення, перекриваються лопатями 6, встановленими на роторі 5 і подрібнюються при проходженні через простір гострих лез 7. Під впливом лопатей ротора і створюваного при їх обертанні повітряного потоку подрібнена маса рухається до вихідного жолоба 8 і через неї виходить назовні і потрапляє в живильну ємність 9. Стандартні передавальні долота 3 і ротор 5 пристрою приводяться в рух електродвигуном 10 пасові та ланцюгові передачі. Електродвигун підключається до електричного струму через роз'єм 11.

Для подрібнення грубих стебельчастих 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, рис. 1.7.



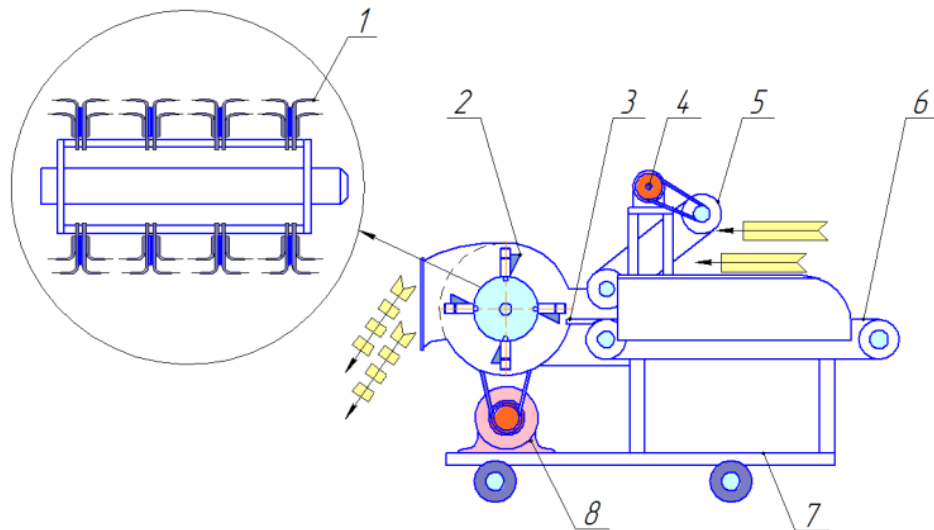


Рисунок 1.7 – Конструкційно-технологічна схема подрібнювача рослинної сировини

На рис. 1.7 позначено: 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – противоріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колесами; 8 – привід барабана.

Подрібнювач включає: систему завантаження (СЗ), камеру подрібнення (КІ) та систему вивантаження (СВ), рис. 1.8.

Робочим органом є 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 [1-10].

Подрібнювач працює в такий спосіб. Неподрібнені стебла укладаються оператором на горизонтальний транспортер, потім вони, переміщаючись, стискаються за допомогою притискного транспортера у 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 доподрібнення.

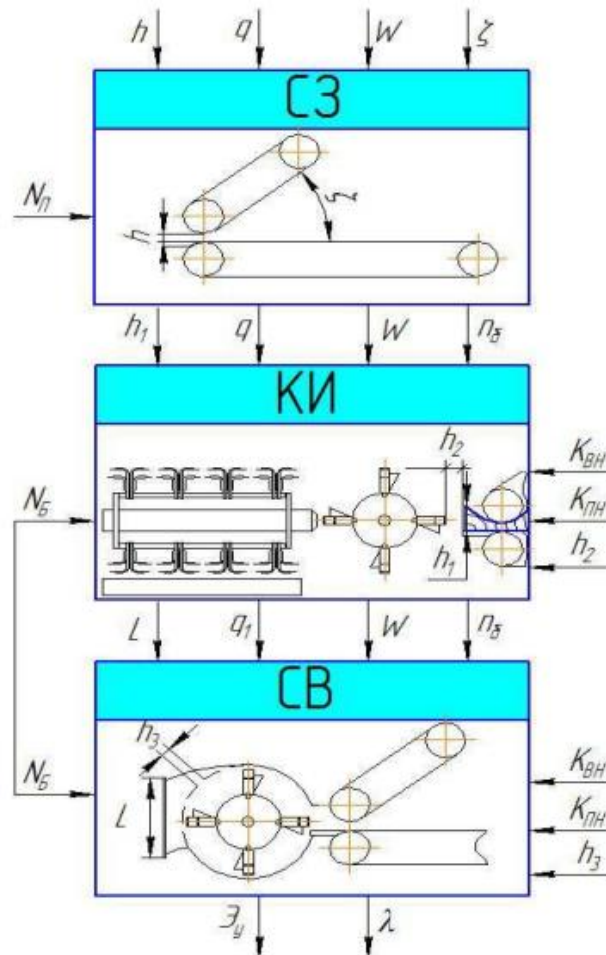


Рисунок 1.8 – Складові подрібнювача (СЗ – система завантаження; КІ – камера подрібнення; СВ – система вивантаження)

На рис. 1.8 позначено:  $h$  – зазор між вальцями живлячих транспортерів;  $q$  – подача матеріалу до камери подрібнення;  $W$  – вологість матеріалу;  $\zeta$  – кут нахилу притискного транспортера;  $N_{\text{П}}$  – потужність на привід живильника;  $h_1$  – товщина шару, що перерізається;  $n_6$  – частота обертання барабана;  $h_2$  – зазор між ножами та протирізом;  $K_{\text{ВК}}$  – 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  $E_y$  – питома енергоємність процесу подрібнення;  $\lambda$  – ступінь подрібнення.

Пристрої для подрібнення та приготування буряків та інших видів кормів, види різальних машин, які використовувалися для подрібнення стебел, дуже різноманітні. Технологічна схема пристрою для подрібнення рослинної сировини представлено на рис. 1.9.

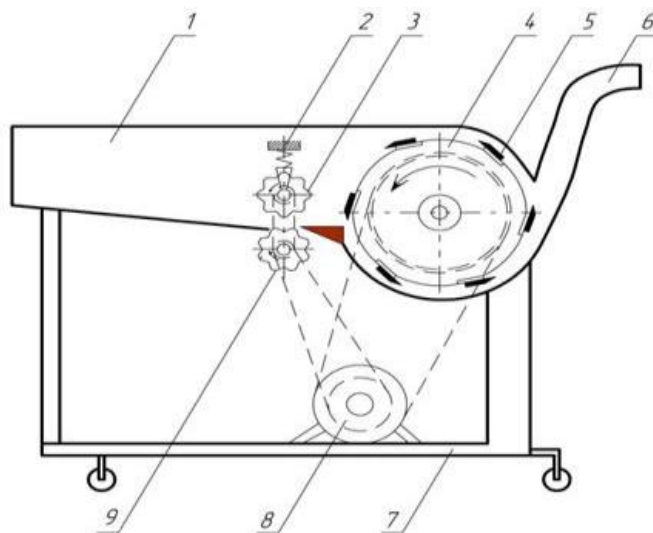


Рисунок 1.9 – Машина для подрібнення зелених стебел

На рис. 1.9 позначено: 1 – бункер; 2 – пружинний притискний механізм; 3 – верхній ролик; 4 – ріжучий барабан; 5 – ріжучий ніж; 6 – дефлектор; 7 – рамка; 8 – електродвигун; 9 – нижній ролик.

Пристрій грубого подрібнення здатний подрібнення зелені стебла, що подаються, а живильник стебла передає в бункер 1 до вальців 3 і 9. Потім вальці подають на різальний барабан 4 за допомогою різальної пластини і після завершення подрібнення поміщується в спеціальний контейнер. Рух передається передачею двигуна 8. Обрізати стебла можна до необхідної довжини, змінюючи кількість обертових валів і різання обертання барабана. Одним із найважливіших показників подрібнення стебел є довжина зрізу.

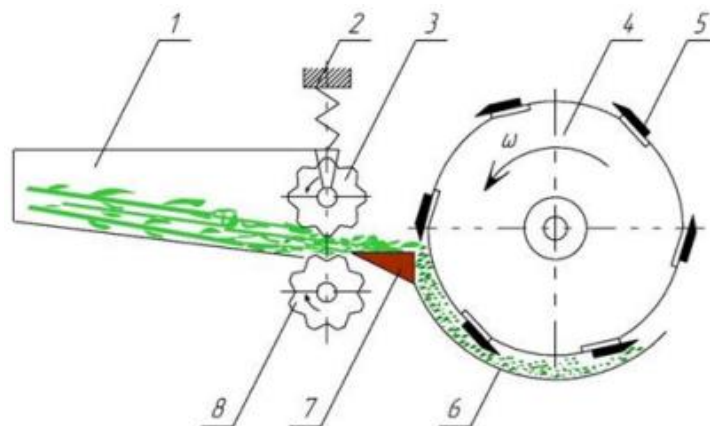


Рисунок 1.10 – Різальний апарат з барабаном

На рис. 1.10 зображено: 1 – бункер; 2 – пружинний притискний механізм; 3 – верхній ролик; 4 – різальний барабан; 5 – розріз ніж; 6 – корпус; 7 – різальна пластина; 8 – нижній ролик.

Стебла спрямовані на пари валиків, що складаються з 3 верхніх і 8 нижніх валиків. Барабан зрізає стебла на бажаній швидкості та подрібнює їх до потрібного розміру

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

### 2.1 Конструкційно-технологічні параметри подрібнювача рослинної сировини з барабанним типом робочого органу

Для подрібнення грубих стебельчастих 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, рис. 2.1.

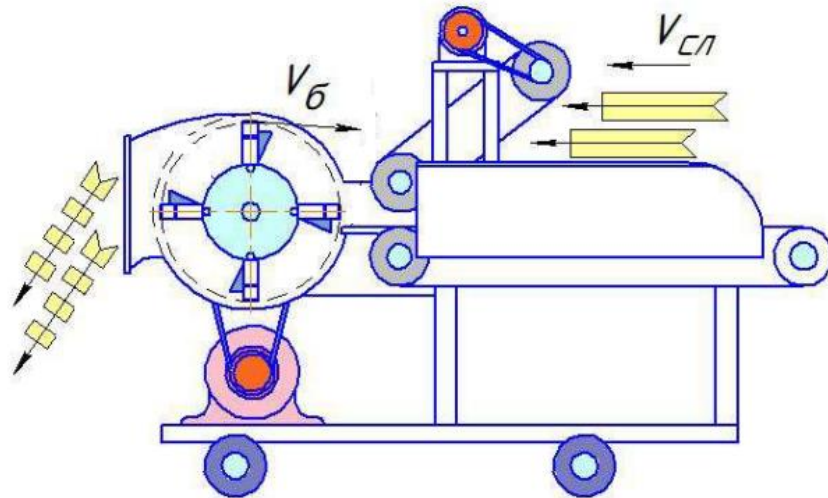


Рисунок 2.1 – Конструкційно-технологічна схема подрібнювача рослинної сировини

На рис. 2.1 позначено: 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – противоріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колосами; 8 – привід барабана.

Робочим органом є 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 [1-10].

<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Соколовський		
Перевір.		Цвіркун		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Хорольський		
<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>				
		Літ.	Арк.	Аркушів
		16	52	
<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики подрібнювача рослинної сировини

Показники	Значення
Продуктивність, кг/год	920
Потужність, кВт	1800
Частоті обертання подрібнювального барабана, об/хв	990...1030
Номінальна потужність електродвигунів, кВт	1,61

Теоретична залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання його робочого органу, рис. 2.2.

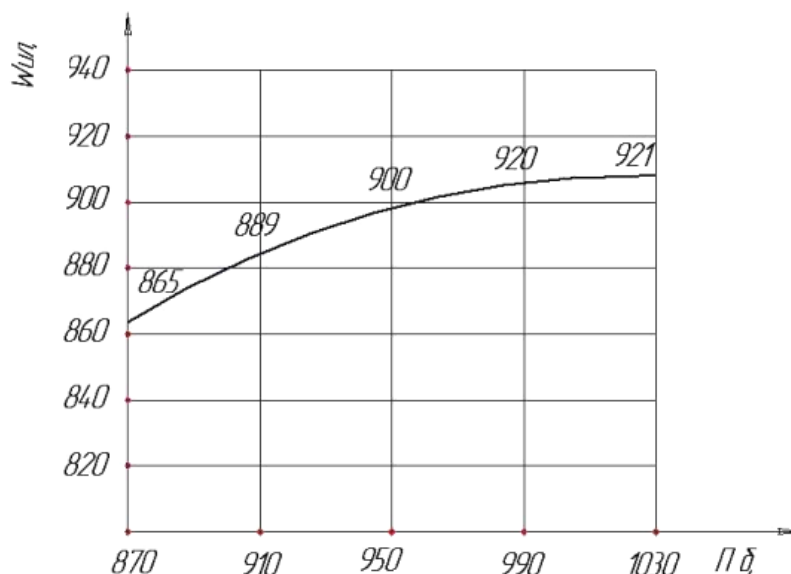


Рисунок 2.2 – Теоретична залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання його робочого органу

Максимальна продуктивність досягається в інтервалі частот обертання робочого органу 950-1030 об/хв. При цьому максимальна теоретична продуктивність подрібнювача досягає 921 кг/год. Після 990 об/хв продуктивність суттєво не змінюється. Збільшення частоти обертання робочого органу вище 1030 об/хв недоцільно, оскільки ножі другого ярусу працюватимуть неефективно, як наслідок, подрібнюючий апарат, не справляючись з подачею, почне забиватися і продуктивність знизиться.

Теоретична залежність витрат потужності на подрібнення стеблової рослинності від частоти його обертання робочого органу, рис. 2.3.

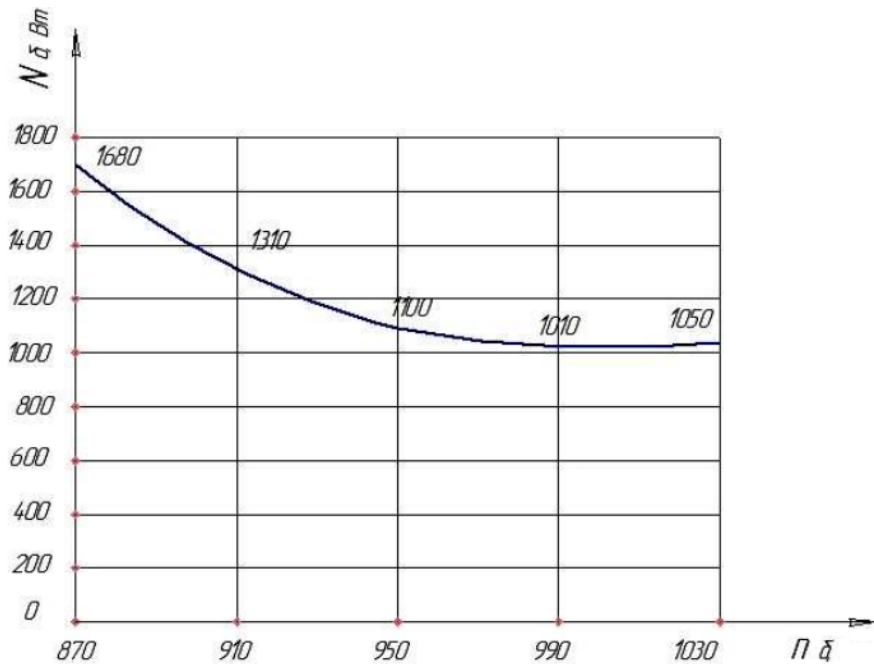


Рисунок 2.3 – Теоретична залежність потужності від частоти його обертання робочого органу

Рациональним є інтервал частот обертання робочого органу 950-1030 про/хв. У цьому раціональному інтервалі функція витрат потужності досягає свого мінімуму при частоті обертання робочого органу 990 об/хв. При зменшенні або збільшенні частоти обертання робочого органу щодо точки нижнього екстремуму значення потужності починає плавно зростати, що вказує початку переважання рубання над ковзним різанням, унаслідок чого нераціонально використовується робоча частина леза (зменшується його завантажена частина) і збільшуються абсолютні значення сил тертя.

Необхідну потужність електродвигуна подрібнювача можна визначити за формулою

$$N_{II} = K_{II} \cdot (N_{X-X} + N_{\delta}) / \eta, \text{ кВт},$$

де  $K_I$  – коефіцієнт подолання інерції при пуску,  $K_I = 1,05 \dots 1,2$ ;

$N_{X-X}$  – потужність, потрібна на холостий хід, кВт;

$\eta$  – К.П.Д. механізму приводу, для клинопасової передачі  $\eta = 0,95$ .

Опір холостого ходу робочого органу обумовлюється тертям осі ротора в підшипниках та опором повітря. Потужність, потрібна на холостий перебіг робочого органу, за аналогією може бути визначена з виразу

$$N_{X-X} = A \cdot \omega_{\delta} + B \cdot \omega_{\delta}^3, \text{ кВт},$$

де  $A \cdot \omega$  – потужність, необхідна для подолання тертя в опорах, кВт;

$B \cdot \omega^3$  – потужність, необхідна для подолання опору вітру, кВт.

Прийmemo

$$A = 0,4 \cdot 10^3,$$

$$B = 0,23 \cdot 10^6.$$

Потужність, потрібна на подрібнення стебел при продуктивності 920 кг/год становить 1,01 кВт. При даній частоті обертання робочого органу потужність, потрібна на холостий хід робочого органу становитиме 0,331 кВт. Отже, необхідна потужність електродвигуна подрібнювача при заданій продуктивності складе 1,61 кВт.

Конструктивно-технологічні параметри подрібнювача рослинної сировини:

$D_6$  – діаметр барабана;

$L_6$  – довжина барабана;

$K_{ПН}$  – кількість рядів поперечних лез;

$b_T$  – ширина завантажувальної горловини, м;

$a_T$  – висота горловини, м;

$\Delta h$  – висота розташування осі барабана над протиріжучою пластиною;

$v_{сл}$  – швидкість шару подрібнюваного матеріалу, м / с;

$v_6$  – окружна швидкість барабана, м/с;

$\alpha_1$  – кут різання;

$\gamma_1$  – кут заточування ножа;

$\beta_1$  – кут установки ножа.

– кут заточування ножа,  $\gamma_1 = 12-22$  град;

– кут ковзання ножа,  $\tau = 17...30$  град;

– гострота леза  $\delta_0 = 20-40$  мкм;

– при затупленні леза допускається гострота  $\delta_{max} = 100$  мкм;

– ширина сточуваної частини леза  $\Delta = 250-500$  мкм;

– зазор у ріжучій парі  $\delta = 1-3$  мм;

– об'ємна маса стеблових кормів, ущільнена живильним апаратом,  $\rho_c = 90-120$  кг/м<sup>3</sup>;

– модуль пружності матеріалу прожилок  $E' = 15-30$  МПа;

– модуль пружності основного матеріалу,  $E'' = 3-4$  МПа.

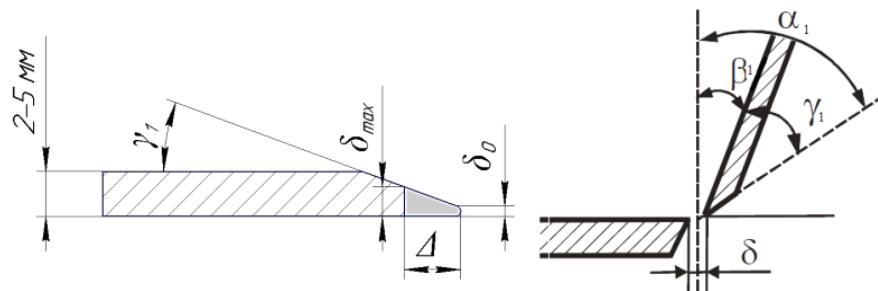


Рисунок 2.4 – Схема визначення параметрів леза ножа:  
а – ніж; б – ріжуча пара

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Продуктивність подрібнювача – це здатність робочого органу в одиницю часу  $t$ , всіма ножами одночасно відсікати (відрізати) деяку площу (або об'єм) від сумарного поперечного перерізу (або об'єму), що подається на подрібнення шару грубих стеблових кормів.

$$W_{us} = \frac{n_n S_c}{t}, \text{ м}^2/\text{с},$$

де  $S_c$  – площа поперечного перерізу частинки стебла, що відсікається серпоподібним лезом;

$n_n$  – кількість лез на ножі.

Для забезпечення нормального різання в барабанному подрібнювачі необхідно створити такі умови, за яких відсутня відштовхувальна сила поперечних серпоподібних лез, що перешкоджає просуванню шару матеріалу, що подрібнюється, в камеру подрібнення. Такі умови створюються, коли вісь барабана розташована вище протиріжучої пластини на величину  $\Delta h$

$$\Delta h = a_r + D_b v_{сл} / 2 v_b$$

де  $D_b$  – діаметр барабана, м;

$v_{сл}$  – швидкість шару подрібнюваного матеріалу, м/с;

$v_b$  – окружна швидкість барабана, м/с;

$a_r$  – висота горловини, м. с.

Основним параметром барабанного подрібнювача є радіус барабана:

$$R_b = \frac{v_{сл} \cdot (b_r \cdot \text{tg}\tau + a_r)}{n_b \cdot l_0 \cdot 2 \cdot \pi}, \text{ м.}$$

де  $b_r$  – ширина горловини, м;

$\tau$  – кут ковзання, град;

$l_0$  – довжина різання, м.

Розрахуємо висоту горловини:

$$a_r = \frac{W_{uv} \cdot 6 \cdot 10^3}{b_r \cdot l_0 \cdot K_{пн} \cdot \rho_c \cdot n_b}, \text{ м.}$$

Кут різання

$$\alpha_1 = \gamma_1 + \beta_1, \text{ град},$$

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



де  $\gamma_1$  – кут заточування ножа;  
 $\beta_1$  – кут установки ножа.

Довжина різання буде

$$l_0 = \frac{v_{сл}}{n_б \cdot K_{ПН}}, \text{ м,}$$

де  $v_{сл}$  – швидкість подачі шару на подрібнення, м/с;

$l_0$  – довжина стебла від кромки до точки торкання ріжучого інструменту.

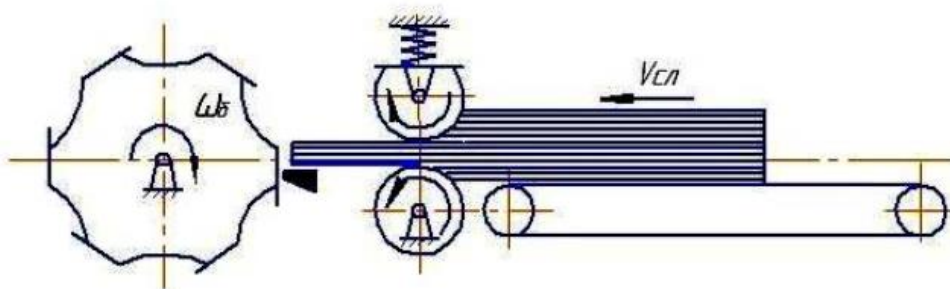


Рисунок 2.5 – Схема подачі шару для подрібнення

$$\omega_б = v_{сл} \frac{\theta}{l_0}, \text{ с}^{-1},$$

де  $\omega_б$  – кутова швидкість робочого органу,  $\text{с}^{-1}$ ;

$\theta$  – центральний кут між ножами.

Таблиця 2.2 – Параметри робочого органу подрібнювача рослинної сировини

Параметри	Значення
$D_б$ – діаметр барабана у робочому стані, мм	500
$L_б$ – довжина барабана, мм	450
$K_{КН}$ – кількість комбінованих ножів	9
$K_{ПН}$ – кількість поперечних лез	36
$K_{ПРКН}$ – кількість повних рядів комбінованих ножів (на двох послідовних осях підвісу), штук	3
$L_{НОЖ}$ – конструктивна довжина комбінованого ножа, мм	177
$L_{ПЛ}$ – довжина одного поперечного леза	86
$b_г$ – ширина завантажувальної горловини, м	450
$a_г$ – висота завантажувальної горловини, м	40
$\Delta h$ – висота розташування осі барабана над протиріжучою пластиною, мм	52

$v_{сл}$ – швидкість шару подрібнюваного матеріалу, м/с	1,2
$v_б$ – окружна швидкість барабана, м/с	25,9
$\beta_1$ – кут установки ножа (конструкційний параметр), градусів	5
$\alpha_1$ – кут різання, градусів	25
$\tau$ – кут ковзання ножа, градусів	20

## 2.2 Узагальнена структура системи візуального контролю подрібнення рослинної сировини із застосуванням технічних засобів

Автоматизація технологічних процесів – це сукупність засобів і методів, призначена для реалізації різних систем, що дає можливість здійснювати управління технологічними процесами без особистого участі людини, або з залишенням за людиною можливості прийняття рішень, є найбільш відповідальними.

Рівень сучасних технологій та швидкість прогресу такі, що вже неможливо вести ефективну трудову діяльність, особливо в галузі харчової та сільськогосподарської промисловості, без серйозної модернізації технічної основи та впровадження комп'ютерної техніки. Автоматизація виробничих процесів на сьогоднішній день є технічною основою для розвитку різних напрямків промисловості та виробництва, в тому числі – в галузі сільського господарства та виробництва продуктів живлення.

Переваги, якими володіє автоматизація виробничих процесів очевидні:

- суттєве підвищення якості продукції за рахунок виключення впливу людського фактору на потокових виробництвах, що вимагають високої точності, усунення помилок та порушень технологічних режимів, неминучих при ручній праці, зручна швидко налаштована автоматизована система керування;

- звільнення людини від малокваліфікованої та монотонної праці, трудомістких та важких операцій, покращення умов праці, виключення впливу шкідливих факторів на персонал на виробництвах з підвищеною небезпекою;

- зменшення капітальних вкладень, зменшення витрат на заробітну плату, скорочення площ та чисельності обслуговуючого персоналу, насамперед, за рахунок можливості використання технологічного обладнання три зміни, 365 днів або 8760 годин на рік.

Завдання, які роботи вирішують в даний час на промислових підприємствах можна поділити на дві групи:

- Маніпуляції із заготовками та виробами: завантаження, вивантаження, збирання.

- Маніпуляції з інструментом: обробка заготовок за допомогою різних інструментів, вимірювання.

Збільшення обсягу випуску продукції та зниження її собівартості неминує пов'язані з автоматизацією виробничих процесів. Автоматизація виробництва тягне за собою підвищення продуктивності праці, зростання обсягів випуску продукції, підвищення якості продукції, скорочення частки людської праці у виробничому процесі та інтелектуалізацію людської праці. Прогрес продуктивних сил суспільства на сучасних умовах визначається ступенем автоматизації виробництва.

Багатофункціональність автоматизованої системи управління харчової промисловості ґрунтується на можливості різноманітного графічного відображення інформації. Так сучасні системи дозволяють оперативно створювати динамічні мнемосхеми, графіки, таблиці тощо. Робота проводиться не лише з реальними даними, а й з тими, що були збережені та заархівовані. Все це дозволяє працювати так оперативно, щоб ефективніше керувати виробництвом та отримувати найкращі результати.

Під час розробки АСУ харчової промисловості застосовуються багатоконтурні системи. Вони реалізуються такі чимало важливі принципи для харчової промисловості, як адаптація, компенсація обурень, і навіть розкриваються структури каскадних систем, системи тривоги і сигналів тощо [6].

- функції АСУ ТП харчового виробництва;
- регулювання технологічних параметрів;
- аналіз техніко-економічних показників;
- облік матеріально-виробничих запасів;
- стабілізація технологічних показників;
- контроль сировини та запасів продукції на складах;
- оцінка витрат та контроль валового прибутку;
- розрахунок рентабельності кожного виду продукції та ін.

Автоматизація технологічних процесів у харчовій промисловості – це обов'язкова умова ефективного управління підприємством. Сучасні автоматизовані системи управління технологічними процесами харчового виробництва дозволяють контролювати всі етапи та операції від надходження сировини до виходу готової продукції. За рахунок спеціальних засобів автоматизації, контролю та управління виробництвом, персонал, раніше повністю зайнятий у технологічних процесах, отримує можливість керувати та контролювати всі операції та техніко-економічні показники у дистанційному режимі.

Приклад: система моніторингу та оперативного контролю виробничих показників наочно подає дані від виробничих ліній у вигляді графіків та схем на екрані оператора. Співробітники одержують оперативну інформацію про роботу технологічного обладнання, контролюють ефективність його роботи, керують оптимальним завантаженням. За рахунок такого контролю вдається своєчасно виявляти неполадки та усувати їх, виключити ризик простоїв виробничих ліній, задавати оптимальний режим роботи технологічного обладнання, скорочувати витрати на капітальний ремонт та підвищувати якість управління виробничим підприємством загалом.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

В автоматизованому харчовому виробництві широко використовують стрічкові конвеєри, транспортери, маніпулятори з програмним управлінням для переміщення та подачі сировини, машини розливу, автоматичні дозатори для дозування сипучих харчових продуктів, вакуум-випарні установки, переробне обладнання, пакувальне обладнання, машини для автоматичного фасування тощо. За рахунок того, що трудомістку ручну працю із завантаження сировини, складування, навантаження, упаковки замінюють засоби автоматизації, підприємству вдається суттєво зменшити трудові витрати.

Автоматизація в харчовій промисловості надає низку переваг:

- зниження собівартості готової харчової продукції;
- збільшення виробничої потужності підприємства;
- виявлення резервів виробництва та їх використання;
- зменшення часу на налагодження та ремонт обладнання;
- мінімізація простоїв виробничих ліній;
- зростання продуктивності технологічного обладнання;
- збільшення обсягу випуску та розширення асортименту;
- скорочення матеріальних, енергетичних та трудових витрат;
- підвищення рентабельності та ефективності виробництва.

Незважаючи на перелічені переваги, автоматизація є доцільною лише в тих випадках, коли це економічно обґрунтовано, тобто витрати, пов'язані з автоматизацією, окупаються економією від її впровадження. Крім того, необхідно автоматизувати процеси, нормальне перебіг яких не може бути забезпечено при ручному управлінні: точні технологічні процеси, робота у шкідливому чи вибухонебезпечному середовищі.

Автоматизація харчового цеху, підготовчого та основного виробництва допомагає підтримувати стерильність, необхідну для харчового виробництва. Автоматизована система повною мірою задовольняє потребу інформації, яка необхідна як оперативним співробітникам, і керівникам підрозділів. Наприклад, на основі повної та оперативної інформації про технологічні процеси керівникам та топ-менеджерам стає простіше приймати грамотні управлінські рішення, оцінювати фінансові показники, аналізувати господарську діяльність підприємства, визначати цільові значення та планувати обсяги виробництва продукції. Від надійності та функціоналу АСУ ТП залежить точність технологічної інформації, що отримується, якість бізнес-процесів, продуктивність операторів, зменшення процедурних помилок, виключення небезпек на виробництві.

Автоматизована система управління харчовим підприємством спрямована на створення високотехнологічного рентабельного та ощадливого виробництва. АСУ ТП харчової промисловості – це спосіб найбільше ефективно використовувати сировину, паливо та інші ресурси харчового виробництва, а також можливість скоротити виробничі втрати. Грамотна та високонадійна АСУ ТП є гарантією безперебійності, ефективності та безпеки функціонування технологічних процесів.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Рослина сировина, що підлягає подрібненню може попадати на конвеєрний транспортер в неякісному вигляді. Це вимагає розробки узагальненої структури системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень, задля вилучення неякісних зразків.

Спочатку побудуємо модель будови стебла. Будемо розглядати стебло як циліндр, виконаний з однорідного матеріалу, з більш міцними прожилками зовні, рис. 2.6.

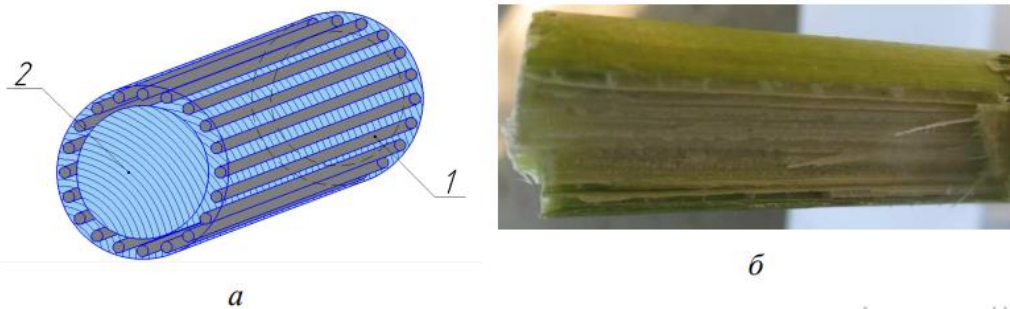


Рисунок 2.6 – Модель стебла кукурудзи

На рис. 2.6 зображено: а – схема; 1 – прожилки; 2 – основний матеріал; б – прожилки у стеблі кукурудзи.

Основу виробництва становлять технологічні процеси різного призначення. Автоматизація технологічних процесів є найскладнішим завданням. Сучасні засоби автоматизації представляють комплекс машин та механізмів з електронними та комп'ютерними системами управління.

Автоматизація харчової промисловості – це можливість оперативно отримувати виробничу інформацію, аналізувати технологічні дані, своєчасно унеможливити ризики в процесі виробництва. Автоматизація технологічних процесів забезпечує відповідність продукції, що випускається, вимогам системи менеджменту безпеки, а також дозволяє вести точний кількісний облік показників, контролювати та управляти виробничим процесом. Функціональна автоматизована система перебирає регулярний контроль фактичних показників, аналіз даних, своєчасне виявлення відхилень значень, облік даних господарських операцій. Комплексна автоматизована система управління підприємством харчової промисловості досягається за рахунок тісної інтеграції кількох програм та підсистем.

Насамперед автоматизація дає можливість мінімізувати вплив людського фактор, через який відбувається 95% помилкових дій та згодом аварійних ситуацій. Машина здатна розрахувати та виконати ту ж роботу за менший час. Працівників буде відсторонено від небезпечних робіт і займуть місця операторів. До завдань автоматизації харчової промисловості відносять: точне та безпомилкове виконання операцій; зменшення ймовірності бракованих товарів; контроль маси та дозування продуктів; миттєвий розрахунок даних;

економічна витрата сировини; попереджувальні повідомлення про виникнення помилок чи аварійних ситуацій.

АСУ ТП – це можливість впровадження модернізованих рішень, серед яких: механізовані лінії, монтаж систем моніторингу, контроль, управління та організація автоматизованих робочих місць.

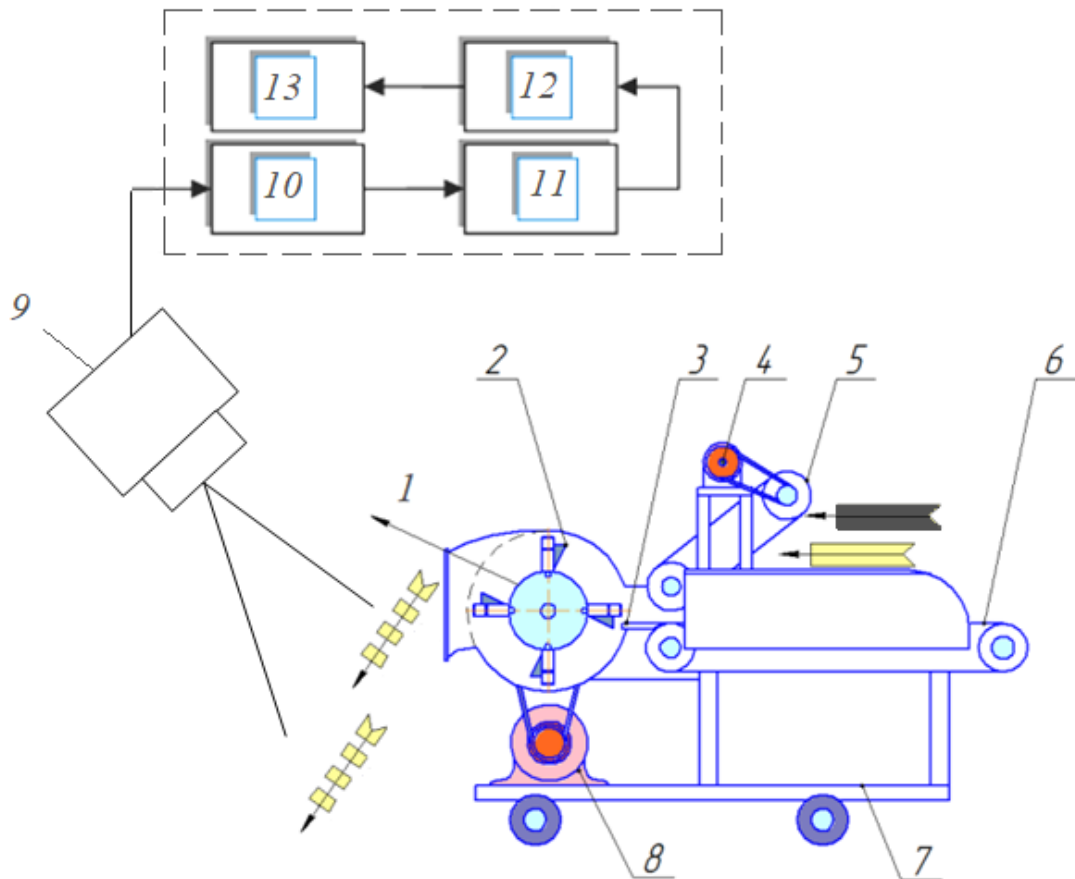


Рисунок 2.7 – Узагальнена структура системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень

На рис. 2.7. зображено: 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – противоріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колосами; 8 – привід барабана, 9 – відеокамера; 10 – система перетворення відео в послідовність фотографічних зображень; 11 – система поліпшення якості зображень; 12 – система розпізнавання неякісних зразків; 13 – вихідний інтерфейс системи.

### 2.3 Моделювання процесу подрібнення рослинної сировини

Переріз стебла в стислому вигляді являє собою еліпс, математичне рівняння якого має вигляд

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

де  $a$  – велика піввісь;

$b$  – мала піввісь.

$$y = \pm b^2 \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} = \pm \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}.$$

Верх еліпса

$$y = f(x) = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}.$$

Низ еліпса

$$y = -f(x) = -\frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}.$$

Найбільш раціональною формою криволінійного леза ножа є форма спіралі Архімеда.

Рівняння Архімедової спіралі у полярній системі координат

$$\rho = \rho(\varphi) = \varphi_0 + k\varphi$$

де  $\varphi_0$  – початкове кутове положення;

$\varphi$  – кут повороту променя, яким переміщається точка, що описує траєкторію спіралі;

$k$  – зміщення точки променю.

Схема різання одиничного стебла наведено рис. 2.8.

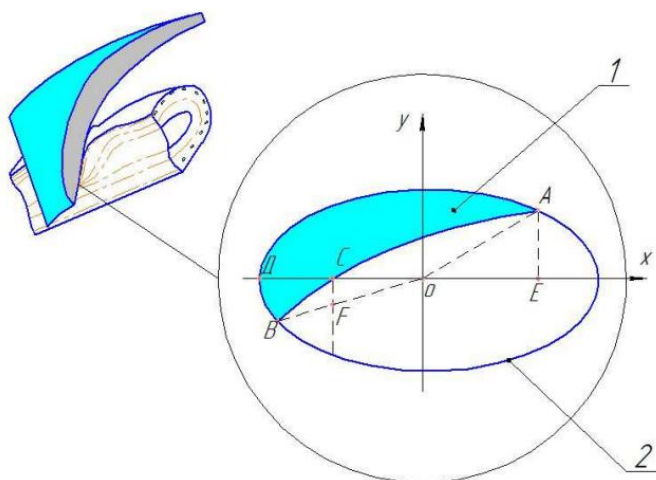


Рисунок 2.8 – Переріз стебла у процесі різання

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На рис. 2.8 позначено: 1 – площа поперечного перерізу стебла, що відсікається ножом; 2 – поперечний переріз стебла у стислому вигляді

Наведені вище теоретичні передумови ґрунтуються на припущенні, що в процесі подрібнення під дією сил удару та різання відсічена частина стебла буде розщеплена на кілька частин у поздовжній площині.

Потужності витраченої на подрібнення стебел ножовим барабаном

$$N_{\sigma} = q_y \cdot \frac{S_c \cdot K_{\text{ПН}} \cdot n_{\sigma}}{60}, \text{ Вт.}$$

де  $q_y$  – питомий тиск ножа, Н/м;

$S_c$  – площа розрізу одним лезом, м<sup>2</sup>;

$n_{\sigma}$  – частота обертання барабана, про/хв.

Схема сил, які діють на стебло, наведено на рис. 2.9.

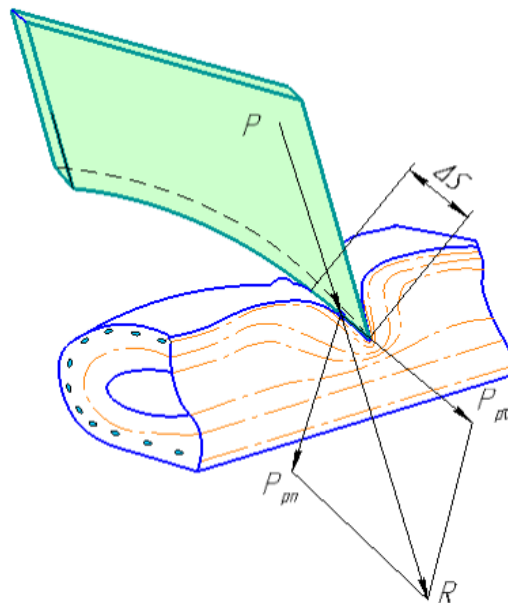


Рисунок 2.9 – Питомий тиск ножа

Питомим тиском називається ставлення нормально чинної сили  $P_{pn}$  до зануреної частини леза ножа  $\Delta S$

$$q_y = \frac{P_{pn}}{\Delta S}, \text{ Вт.}$$

За наявності бічної сили  $P_{pt}$  та ковзного руху ножа величина потрібного нормального тиску зменшується



$$N_{\delta} = \frac{P_{pn} \cdot S_c \cdot K_{ПН} \cdot n_{\delta}}{\Delta S \cdot 60}, \text{ Вт.}$$

Оскільки робочий процес різання матеріалу лезом складається з двох етапів: попереднього ущільнення та різання, отримаємо

$$P_{pn} = P_{pn1} + P_{pn2} + P_{pn3} + P_{pn4}, \text{ Н.}$$

де  $P_{pn1}$  – сила, що створює пружні деформації прожилок стебла, Н;

$P_{pn2}$  – сила, що створює пластичні деформації прожилок стебла, Н;

$P_{pn3}$  – сила, що створює пружні деформації основного матеріалу стебла, Н;

$P_{pn4}$  – сила, що створює пластичні деформації основного матеріалу стебла, Н.

Отже, сила, що руйнує прожилки, дорівнює

$$P'_{pn} = P_{pn1} + P_{pn2}, \text{ Н.}$$

Сила, що руйнує основний матеріал

$$P''_{pn} = P_{pn3} + P_{pn4}, \text{ Н.}$$

Тоді

$$P_{pn} = P'_{pn} + P''_{pn}, \text{ Н.}$$

При нормальній дії ножа на стебло в зоні руйнування останнього виникають нормальні напруження. У поперечних перерізах стрижня виникають нормальні напруження, які, згідно з гіпотезою плоских поперечних перерізів, рівномірно розподілені по всій площі перерізу та рівні відношенню сили до площі поперечного перерізу.

$$\sigma = \frac{P'_{pn}}{\Sigma S_{П}} + \frac{P''_{pn}}{\Sigma S_{o}}, \text{ Па,}$$

де  $\Sigma S_{П}$  – загальна площа поперечного перерізу прожилок стебла, м<sup>2</sup>;

$\Sigma S_{o}$  – загальна площа поперечного перерізу основного матеріалу стебла, м<sup>2</sup>.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Абсолютна деформація виражає абсолютну зміну будь-якого лінійного або кутового розміру, площі перерізу або ділянки граничної поверхні елемента, виділеного в тілі, що деформується, або всього тіла. Абсолютну деформацію обчислюють за формулою

$$\Delta h_i = \frac{P_{pn} \cdot h_i}{E \cdot S_c}, \text{ м.}$$

де  $E$  – модуль пружності, МПа.

Звідси сила, необхідна для руйнування армуючих прожілок:

$$P'_{pn} = \frac{\Delta h_i' \cdot E' \cdot \Sigma S_{II}}{h_i'}, \text{ Н,}$$

де  $h_i'$  – еквівалентна товщина подрібнюваного шару прожілок стебла, м;

$\Delta h_i'$  – абсолютна деформація шару прожілок, що подрібнюється, що викликає появу розрізу, м;

$E'$  – модуль пружності матеріалу прожілок, МПа.

Сила, потрібна для руйнування основного матеріалу:

$$P''_{pn} = \frac{\Delta h_i'' \cdot E'' \cdot \Sigma S_o}{h_i''}, \text{ Н,}$$

де  $h_i''$  – товщина подрібнюваного шару основного матеріалу стебла, м;

$\Delta h_i''$  – абсолютна деформація основного матеріалу, що викликає появу розрізу м;

$E''$  – модуль пружності основного матеріалу, МПа.

Тоді:

$$P_{pn} = \frac{\Delta h_i' \cdot E' \cdot \Sigma S_{II}}{h_i'} + \frac{\Delta h_i'' \cdot E'' \cdot \Sigma S_o}{h_i''}, \text{ Н.}$$

Зробивши друге припущення, можна зробити висновок, що абсолютну деформацію подрібнюваного шару стебла, що викликає появу розрізу можна визначити з вираження шляху змінання, рис. 2.7.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

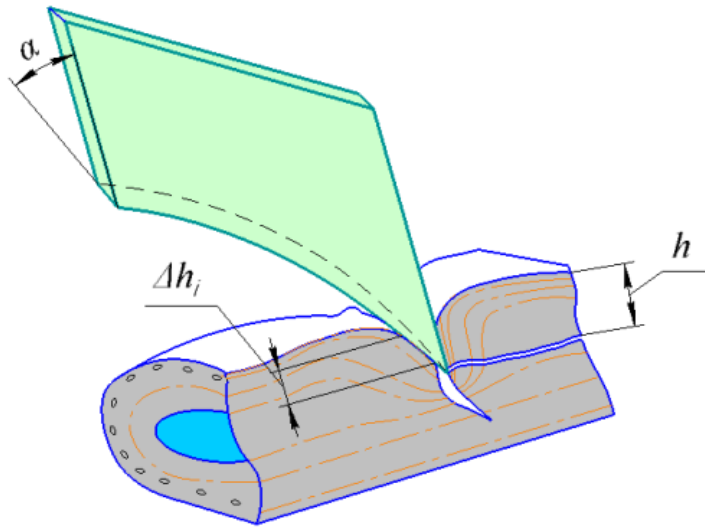


Рисунок 2.10 – Схема впровадження клину в матеріал, що подрібнюється

$$\Delta h_i = h \frac{\cos \varphi_1 \cdot \sin^2 \left[ \frac{90^\circ - \varphi_1}{2} \right] \cos \left[ \frac{\varphi_1 + \varphi_2 - \alpha}{2} \right]}{\cos^3 \left( \frac{\varphi_1 + \varphi_2 + \alpha}{2} \right)}, \text{ м,}$$

де  $h$  – товщина стружки, м;

$\alpha$  – кут різання, градус;

$\varphi_1$  – кут тертя матеріалу за межами клину, градус;

$\varphi_2$  – кут тертя у площині сколювання, градус.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Етапи подрібнення рослинної сировини

У загальному випадку процес подрібнення стеблових матеріалів серповидними лезами комбінованих ножів протікає наступним чином.

Лезо знаходиться у безпосередній близькості зі стеблом (до початку контакту), а стебло зберігає циліндричну форму (рис. 3.1).

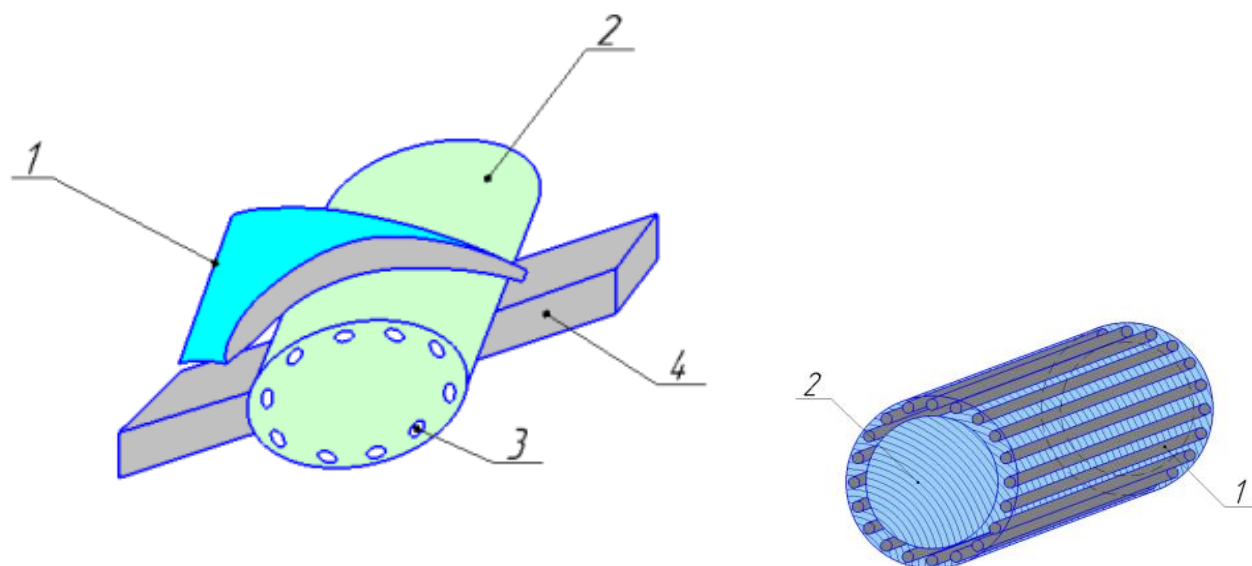


Рисунок 3.1 – Переріз стебла

На рис. 3.1 представлено: 1 – серповидне лезо комбінованого ножа; 2 – стебло; 3 – прожилки рослинної сировини; 4 – протирижуча пластина.

Надалі лезо відрізає цілий шматок заданої довжини. У цьому випадку поверхня зрізу фактично є переріз циліндра, яким є стебло корму діаметром  $d$ . Тоді завдання зводиться до пошуку усіченого площиною циліндра, наведеного рис. 3.2.

$$V = S_{осн} h_{ср}, \text{ м}^3$$

де  $h_{ср}$  – середня висота циліндра.

<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Соколовський		
Перевір.		Цвіркун		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Хорольський		
<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			4	52
<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				

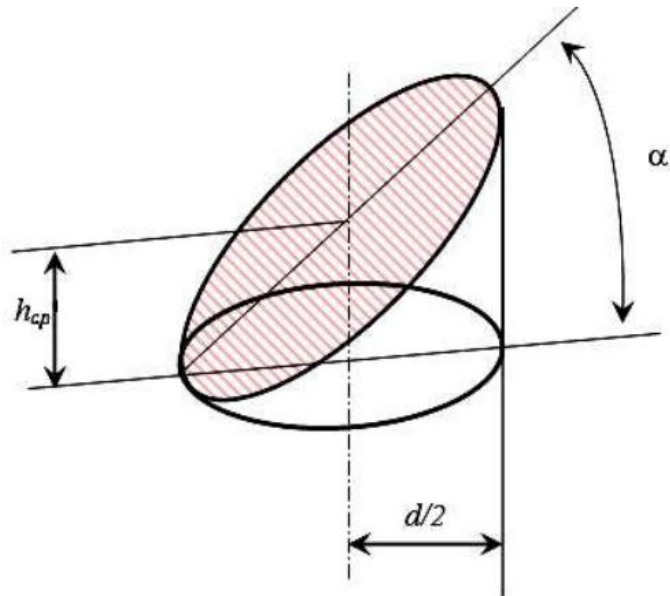


Рисунок 3.2 – Схема частки стебла, що відсікається

$$h_{cp} = \frac{d \sin \alpha}{2}$$

$$S_{осн} = \frac{\pi d^2}{4}$$

Тоді обсяг відсіченої частини складе:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \frac{d \sin \alpha}{2} = \frac{\pi d^3}{8} \sin \alpha.$$

У процесі подрібнення відбувається розщеплення частки. У даному, найбільш характерному випадку набуває вигляду, наведений рис. 3.3, рис. 3.4.

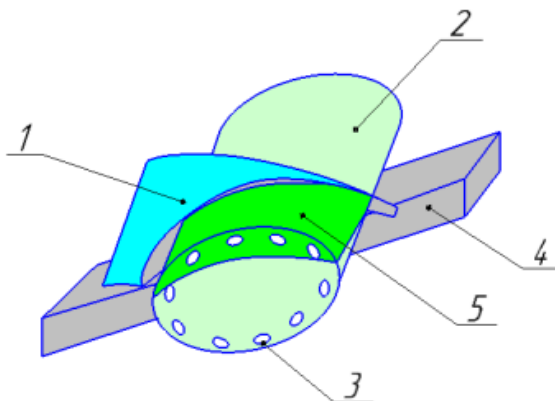


Рисунок 3.3 – Подрібнення стебла

На рис. 3.3 позначено: 1 – серпоподібне лезо комбінованого ножа; 2 – стебло; 3 –прожилки рослинної сировини; 4 – протиріжуча пластина; 5 – частина відсікається частинки, що відірвалася.

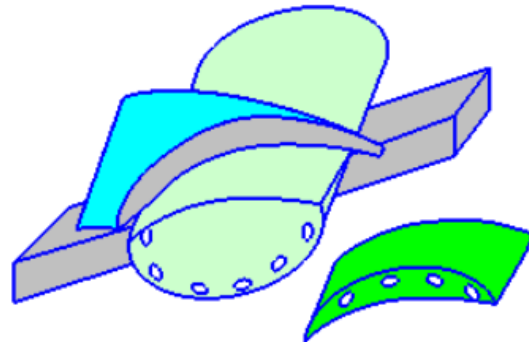


Рисунок 3.4 – Відсікання частини стебла

Узагальнена структура системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень, 3.5.

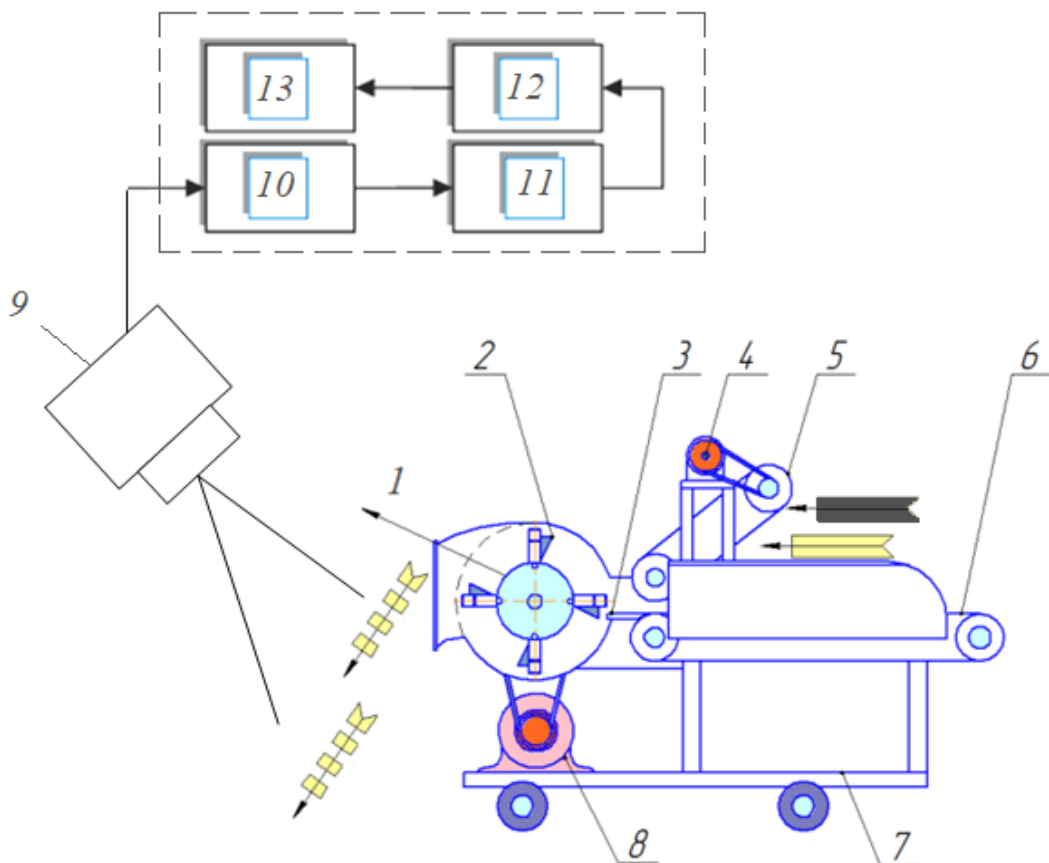


Рисунок 3.5 – Узагальнена структура системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень

На рис. 3.5 зображено: 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – противоріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колосами; 8 – привід барабана, 9 – відеокамера; 10 – система перетворення відео в послідовність фотографічних зображень; 11 – система поліпшення якості зображень; 12 – система розпізнавання неякісних зразків; 13 – вихідний інтерфейс системи.

Оснoву виробництва становлять технологічні процеси різного призначення. Автоматизація технологічних процесів є найскладнішим завданням. Сучасні засоби автоматизації представляють комплекс машин та механізмів з електронними та комп'ютерними системами управління.

Автоматизація харчової промисловості – це можливість оперативно отримувати виробничу інформацію, аналізувати технологічні дані, своєчасно унеможливити ризики в процесі виробництва. Автоматизація технологічних процесів забезпечує відповідність продукції, що випускається, вимогам системи менеджменту безпеки, а також дозволяє вести точний кількісний облік показників, контролювати та управляти виробничим процесом. Функціональна автоматизована система перебирає регулярний контроль фактичних показників, аналіз даних, своєчасне виявлення відхилень значень, облік даних господарських операцій. Комплексна автоматизована система управління підприємством харчової промисловості досягається за рахунок тісної інтеграції кількох програм та підсистем.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
						39
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини. У роботі зазначено, що процес подрібнення займає важливе місце, оскільки саме подрібнення є найбільш енергоємною операцією. Для подрібнення грубої рослинної сировини застосовуються різні машини та агрегати. Однак більшість із них не забезпечує регламентованої вимогами до ступеня подрібнення і мають дуже велику енергоємність процесу.

Крім того, багато подрібнювачів незручні в експлуатації та недостатньо надійні. Низька універсальність більшості існуючих подрібнювачів не дозволяє широко використовувати їх при подрібненні різноманітної сировини, бо багато з яких мають міцне стебло. Тому дослідження спрямоване на визначення найефективніших конструкцій подрібнювачів рослинної сировини та шляхів удосконалення їх робочих органів.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання та огляд робочих органів для подрібнення рослинної сировини. На основі аналізу було виявлено, що для подрібнення найбільш перспективним є барабанний тип робочого органу, оскільки він добре узгоджений з пристроєм живлення і дозволяє ефективно застосовувати декілька ножів різної конфігурацій. Розглянуто процес подрібнення рослинної сировини лезом, а саме процес різання: нормальне (рубка), похиле і ковзне. Найбільший інтерес представляє різання зі ковзанням, оскільки даний вид різання сприяє мінімізації витрат енергії.

Зазначено, що саме ковзне різання є найбільш перспективним, оскільки даний вид подрібнення реалізується в барабанних подрібнювачах, не вимагає застосування складних робочих органів і дозволяє зменшити енергоємність процесу подрібнення за рахунок раціонального розподілу сил, що діють на подрібнювальне стебло рослинної сировини. Конструкція робочих органів, що забезпечують ковзне різання, може зменшити матеріалоемність барабанних подрібнювачів. Крім того, аналіз обладнання для подрібнення рослинної сировини дав змогу виявити, що засобам автоматизації приділено не достатньо уваги.

Другий розділ присвячено удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів подрібнювача рослинної сировини з барабанним типом робочого органу. Робочим органом є 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.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Соколовський</i>			<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					2	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						



Зазначено, що автоматизація технологічних процесів – це сукупність засобів і методів, призначена для реалізації різних систем, що дає можливість здійснювати управління технологічними процесами без особистої участі людини, або з залишенням за людиною можливості прийняття рішень, є найбільш відповідальними.

Основу виробництва становлять технологічні процеси різного призначення. Автоматизація технологічних процесів є найскладнішим завданням. Сучасні засоби автоматизації представляють комплекс машин та механізмів з електронними та комп'ютерними системами управління.

Автоматизація харчової промисловості – це можливість оперативно отримувати виробничу інформацію, аналізувати технологічні дані, своєчасно унеможливити ризики у процесі виробництва. Автоматизація технологічних процесів забезпечує відповідність продукції, що випускається, вимогам системи менеджменту безпеки, а також дозволяє вести точний кількісний облік показників, контролювати та управляти виробничим процесом. Функціональна автоматизована система перебирає регулярний контроль фактичних показників, аналіз даних, своєчасне виявлення відхилень значень, облік даних господарських операцій. Комплексна автоматизована система управління підприємством харчової промисловості досягається за рахунок тісної інтеграції кількох програм та підсистем.

Зазначено, що рослина сировина, що підлягає подрібненню може попадати на конвеєрний транспортер в неякісному вигляді. Тому було запропоновано узагальнену структуру системи візуального контролю потоку подрібненої рослинної сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень, задля вилучення неякісних зразків. Стебла кукурудзи, які могли попасти на конвеєрну стрічку невідповідної якості за допомогою відеоспостереження розпізнаються за допомогою цифрової обробки зображень та підглядають вилученню із загального потоку, що уможливорює отримання подрібненої сировини однорідної якості.

Здійснено моделювання процесу подрібнення рослинної сировини. Зазначено, що процес подрібнення протікає в декілька етапів: спочатку лезо знаходиться у безпосередній близькості зі стеблом (до початку контакту), а стебло зберігає циліндричну форму. Надалі лезо відрізає цілий шматок заданої довжини, що призводить до розщеплення частки стебла. У процесі подрібнення під дією сил удару та різання відсічена частка стебла буде розщеплена на кілька частин у поздовжній площині. Робочий орган одночасно розщеплює стебла рослинної сировини, руйнуючи його внутрішню структуру та здійснює ковзне різання розщеплених стебел.

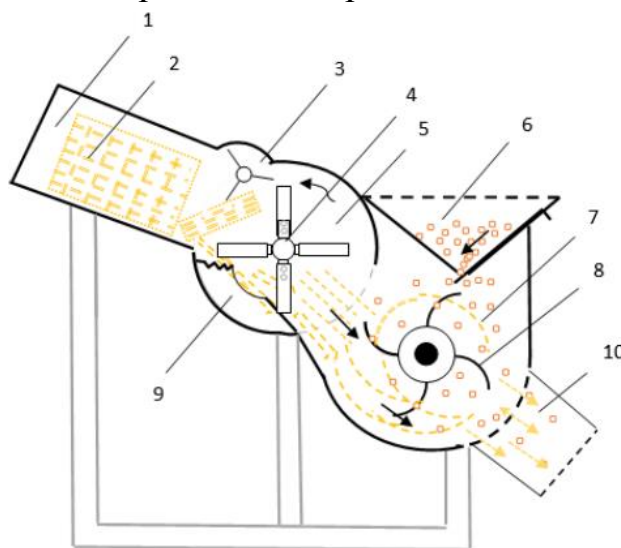
					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

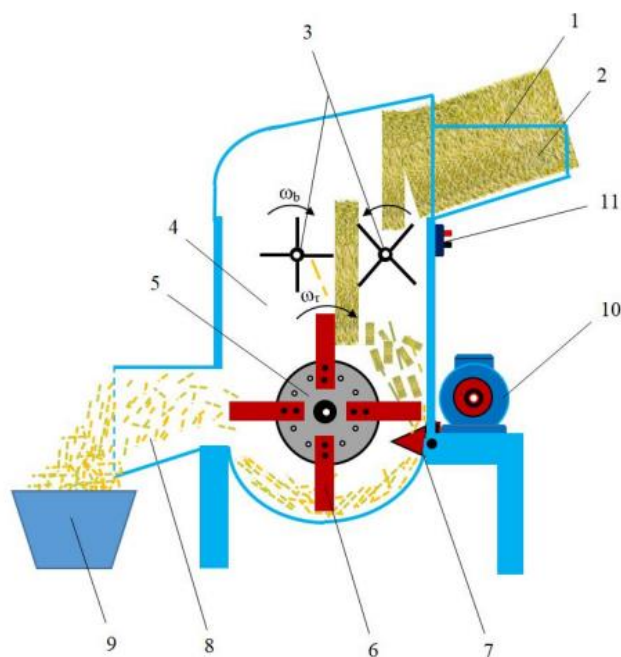
- 1 Gapparov Sh., Karshiev F. Study on preparation and distribution of forage by chopping coarse fodder. *Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 2. P. 20–26.
2. Guide Ganyani, Tawanda Mushiri. Design of an Automated Vegetable Cutter and Slicer. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Pilsen, Czech Republic, 2019, P. 46–60.
3. Borotov A. Cutting length the fodders of green stalks by drum chopper. *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 6. P. 45–52.
4. Mamato F. Determining the parameters of the grinder rotor and its blades for grinding coarse feed. *Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 12. P. 120–129.
5. Gapparov Sh., Karshiev F. Development chopper device that chops baled rough fodders. *Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 7. P. 23–30.
6. Ревенко І.І. Механізація виробництва продукції тваринництва. Київ: Урожай, 1994. 264 с.
7. Sergio Cuber. In-line sorting of irregular potatoes by using automated computer-based machine vision system. *Journal of food engineering*. 2012. Vol. 112. P. 60–68.
8. Yongsheng Si, Sindhuja Sankaran. Image-based automated potato tuber shape evaluation. *Journal of food measurement and characterization*. 2018. Vol. 12. P. 702–709.
9. Roya Hassankhan, Hossein Navid. Potato sorting based on size and color in machine vision system. *Journal of agricultural science*. 2012. Vol. 4. P. 235–244.
10. Wang J., Xiong Z. Potato grading method of weight and shape based on imaging characteristics parameters in machine vision system. *Transactions of the Chinese society of agricultural engineering*. 2016. Vol. 32. P. 272–277.
11. Kong Y., Gao X., Li H. Potato grading method of mass and shapes based on machine vision. *Transactions of the Chinese society of agricultural engineering*. 2012. Vol. 28. P. 143–148.
12. Zhou Z., Huang Y., Li X. Automatic detecting and grading method of potatoes based on machine vision. *Transactions of the Chinese society of agricultural engineering*. 2012. Vol. 28. P. 178–183.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<b>Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для подрібнення рослинної сировини</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Соколовський					1	52	
Перевір.	Цвіркун					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
Н. Контр.	Омельченко							
Затверд.	Хорольський							

**Додаток А**  
Технологічні схеми обладнання для подрібнення  
рослинної сировини

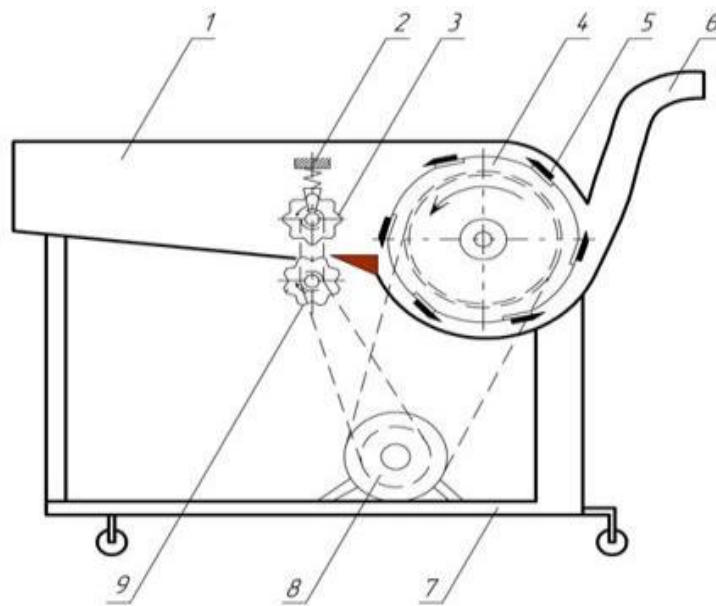


1 – бункер, 2 – пресована солома, 3 – передавач, 4 – подрібнюючи ротор, 5 – камера подрібнення, 6 – кормовий бункер, 7 – камера змішування, 8 – барабанний змішувач, 9 – протилежний різець, 10 – вихід готової продукції.

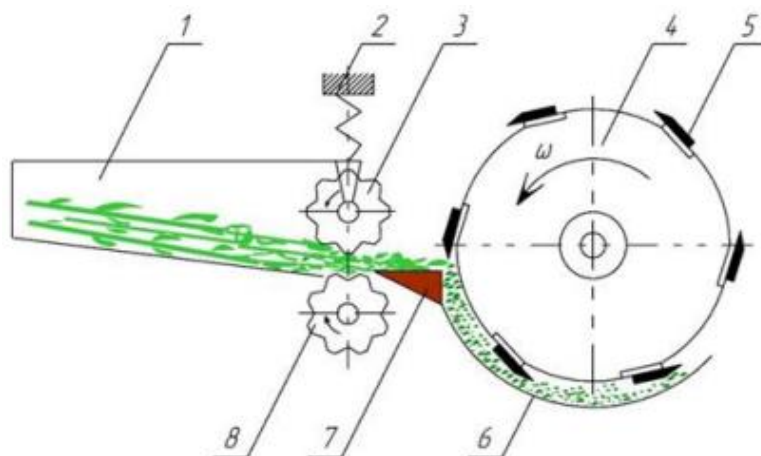


1 – пресований грубий корм; 2 – лінія електропередачі; 3 – стандартні передачі; 4 – шліфувана камера; 5 – ротор; 6 – шліфувальні леза; 7 – фіксовані леза; 8 – вихідний канал продукту; 9 – сировина; 10 – електродвигун; 11 – пульт дистанційного відключення

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Соколовський				Технологічні схеми обладнання для подрібнення рослинної сировини	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун						2	52
Н. Контр.	Омельченко				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
Затверд.	Хорольський							



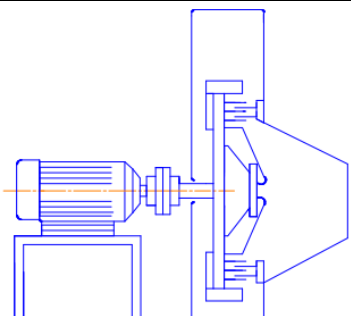
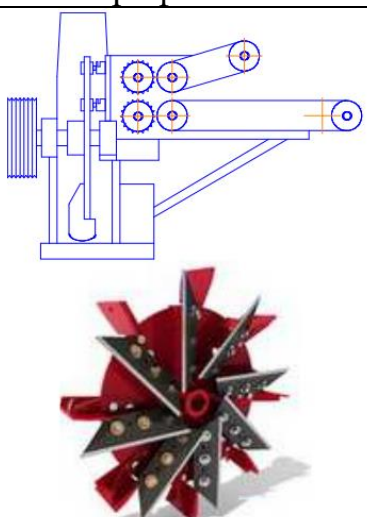

1 – бункер; 2 – пружинний притискний механізм; 3 – верхній ролик; 4 – ріжучий барабан; 5 – ріжучий ніж; 6 – дефлектор; 7 – рамка; 8 – електродвигун; 9 – нижній ролик



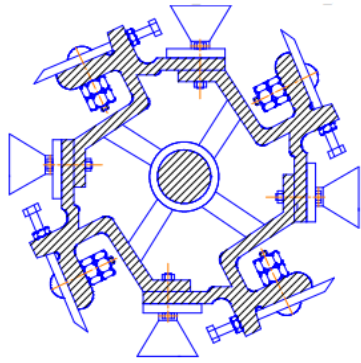
1 – бункер; 2 – пружинний притискний механізм; 3 – верхній ролик; 4 – різальний барабан; 5 – розріз ніж; 6 – корпус; 7 – різальна пластина; 8 – нижній ролик

## Додаток Б

### Конструкції робочих органів подрібнювачів рослинної сировини

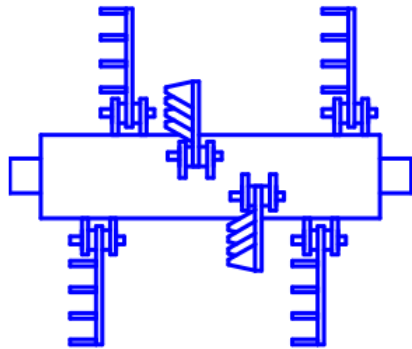
Тип робочого органу	Застосування
 <b>Штрифтовий</b>	<p>Подрібнення стебел, використовуючи процеси зламу, розриву та перетирання при їх вологості до 40%</p>
 <b>З ножами, закріпленими на крильчатці</b>	<p>Подрібнення стебел та соковитих кормів, використовуючи різання та розщеплення частинок з метою отримання м'якої маси</p>
 <b>Барабанний</b>	<p>Подрібнення стебел з регульованою довжиною різання без розщеплення вздовж волокон</p>

<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Соколовський		
Перевір.		Цвіркун		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Хорольський		
<b>Конструкції робочих органів подрібнювачів рослинної сировини</b>				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			2	52
<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				



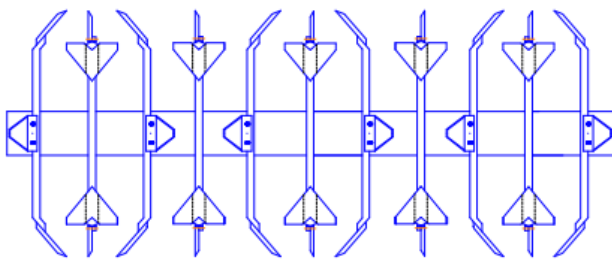
З поздовжньо-поперечним різанням

Подрібнення стебел різанням і розщеплення частинок з метою отримання м'якої маси



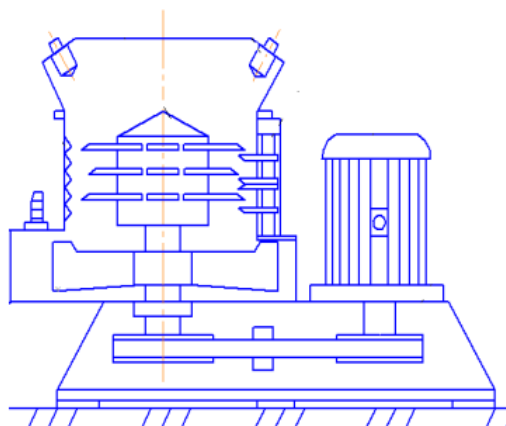
З багатоплощиним робочим органом

Робочий орган забезпечує гарну якість подрібнення: частинки завдовжки 20 – 50 мм становлять 85,7%, а розщеплені частинки перевищують 97%



Фрезбарабан

Уявляє собою циліндр на поверхні якого прикріплені по гвинтовій лінії Г-подібні ножі



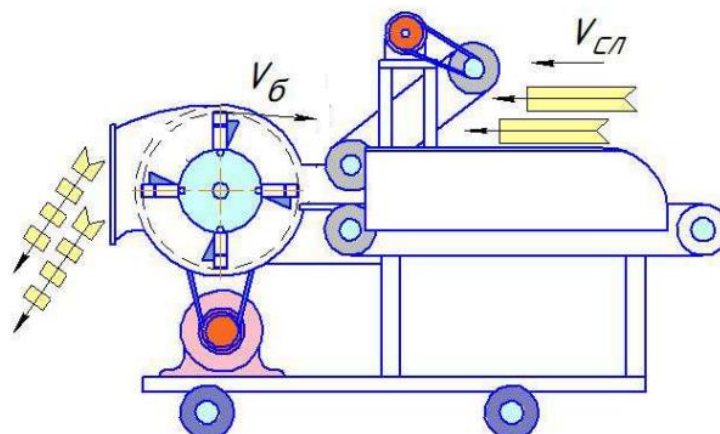
Вертикальний ножовий барабан

Вертикальний барабан з декількома рядами ножів, подрібнює корм за допомогою взаємодії з протирізами

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## Додаток В

### Конструкційно-технологічні характеристики подрібнювача рослинної сировини з барабанним типом робочого органу



- 1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – противоріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колосами; 8 – привід барабана.

#### Параметри робочого органу подрібнювача рослинної сировини

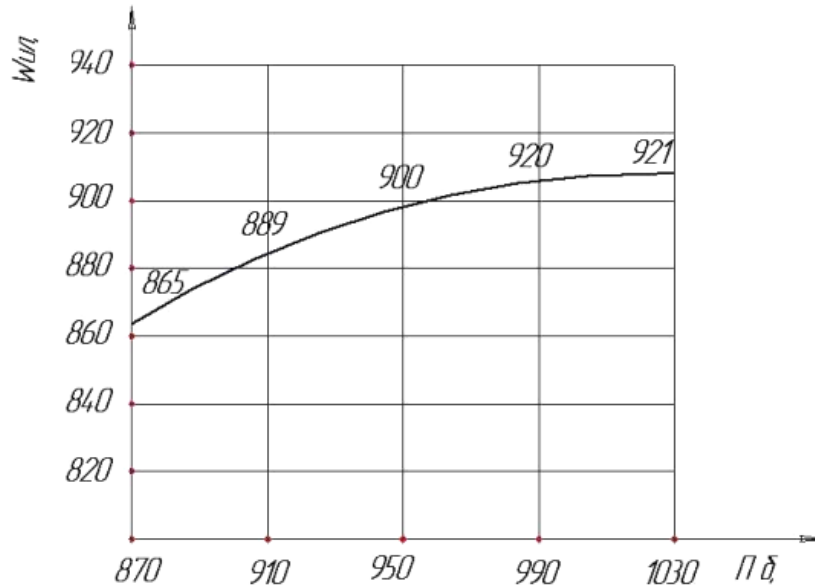
Параметри	Значення
$D_6$ – діаметр барабана у робочому стані, мм	500
$L_6$ – довжина барабана, мм	450
$K_{KH}$ – кількість комбінованих ножів	9
$K_{ПН}$ – кількість поперечних лез	36
$K_{ПРKH}$ – кількість повних рядів комбінованих ножів (на двох послідовних осях підвісу), штук	3
$L_{НОЖ}$ – конструктивна довжина комбінованого ножа, мм	177
$L_{ПЛ}$ – довжина одного поперечного леза	86
$b_T$ – ширина завантажувальної горловини, м	450
$a_T$ – висота завантажувальної горловини, м	40
$\Delta h$ – висота розташування осі барабана над протирижучою пластиною, мм	52
$v_{сл}$ – швидкість шару подрібнюваного матеріалу, м/с	1,2
$v_6$ – окружна швидкість барабана, м/с	25,9
$\beta_1$ – кут установки ножа (конструкційний параметр), градусів	5
$\alpha_1$ – кут різання, градусів	25
$\tau$ – кут ковзання ножа, градусів	20

<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Соколовський			
Перевір.	Цвіркун			
Н. Контр.	Омельченко			
Затверд.	Хорольський			
<b>Конструкційно-технологічні характеристики подрібнювача рослинної сировини з барабанним типом робочого органу</b>			Літ.	Арк.
			3	52
<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				

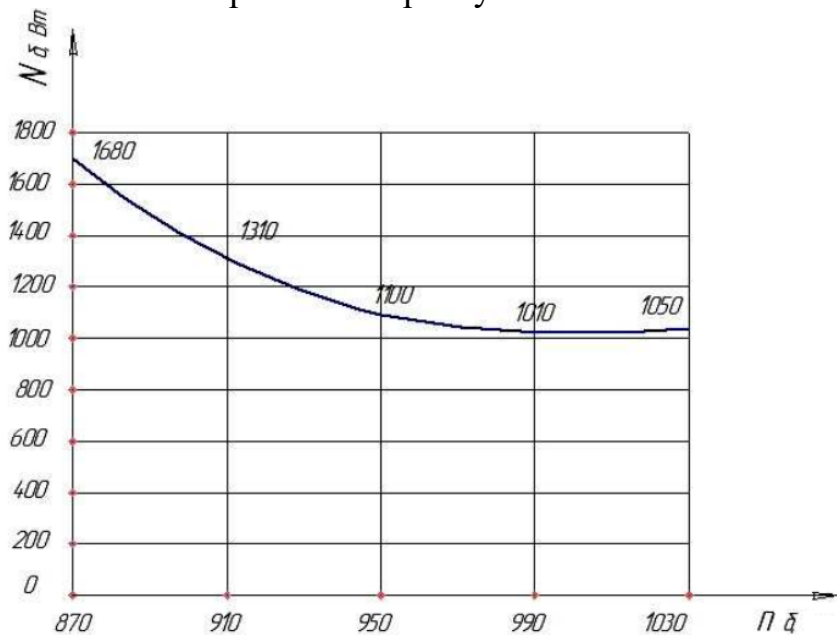
Технічні характеристики подрібнювача рослинної сировини

Показники	Значення
Продуктивність, кг/год	920
Потужність, кВт	1,8
Частоті обертання подрібнювального барабана, об/хв	990...1030
Номінальна потужність електродвигунів, кВт	1,9

Теоретична залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання його робочого органу

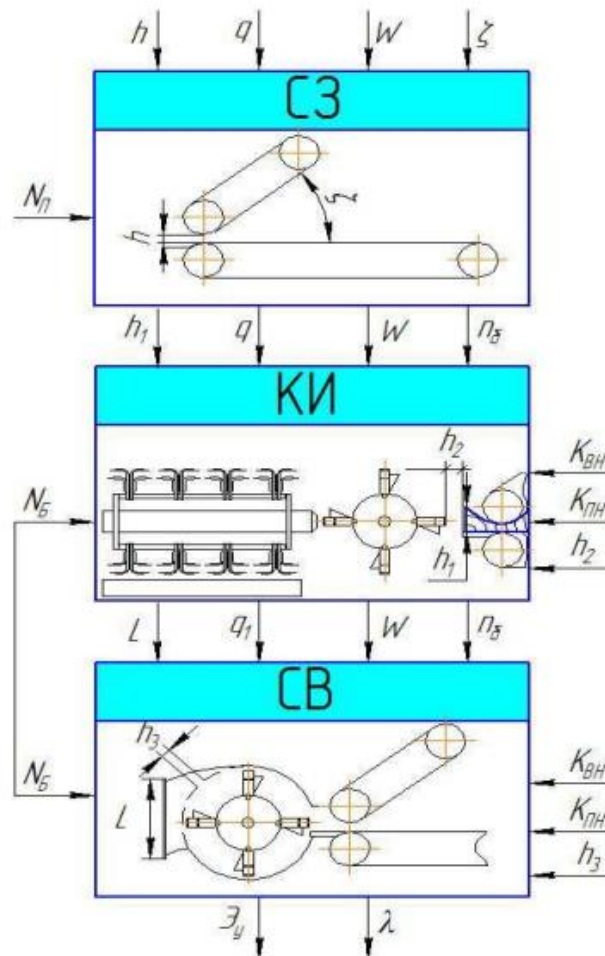


Теоретична залежність потужності від частоти його обертання робочого органу



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



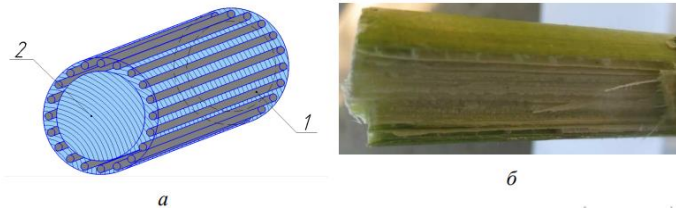


Складові подрібнювача (СЗ – система завантаження; КІ – камера подрібнення; СВ – система вивантаження)

$h$  – зазор між вальцями живлячих транспортерів;  $q$  – подача матеріалу до камери подрібнення;  $W$  – вологість матеріалу;  $\zeta$  – кут нахилу притискного транспортера;  $N_{\text{п}}$  – 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  $E_y$  – питома енергоємність процесу подрібнення;  $\lambda$  – ступінь подрібнення

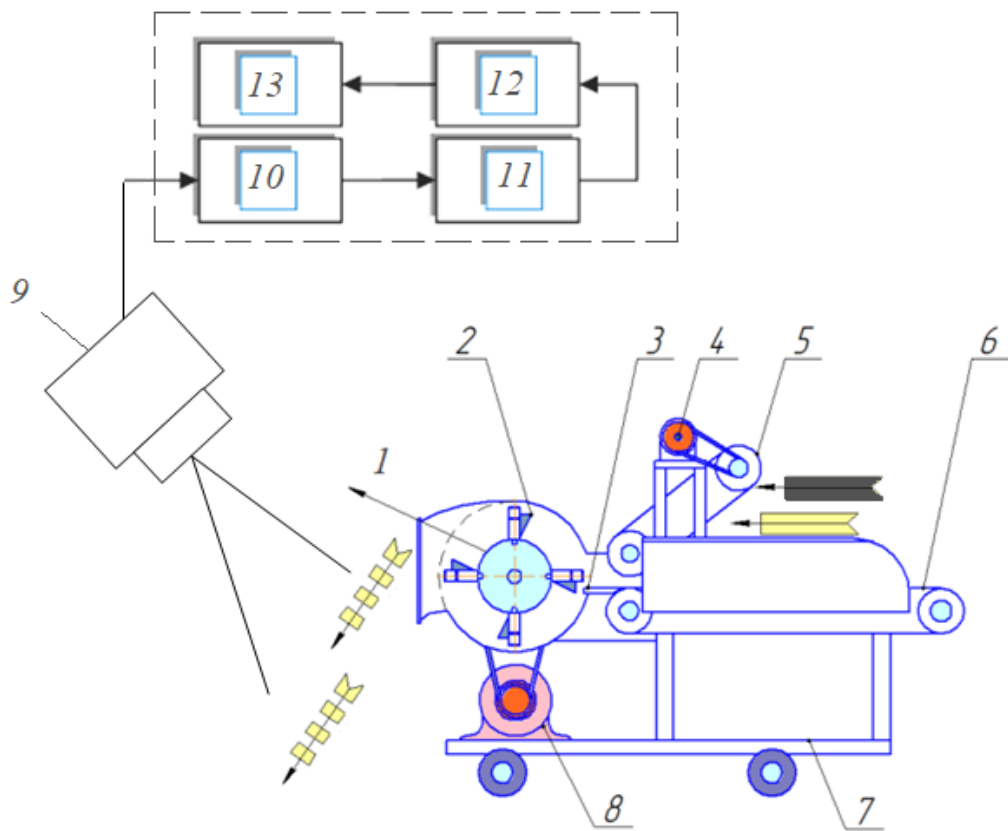
## Додаток Г

Узагальнена структура системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень



Модель стебла

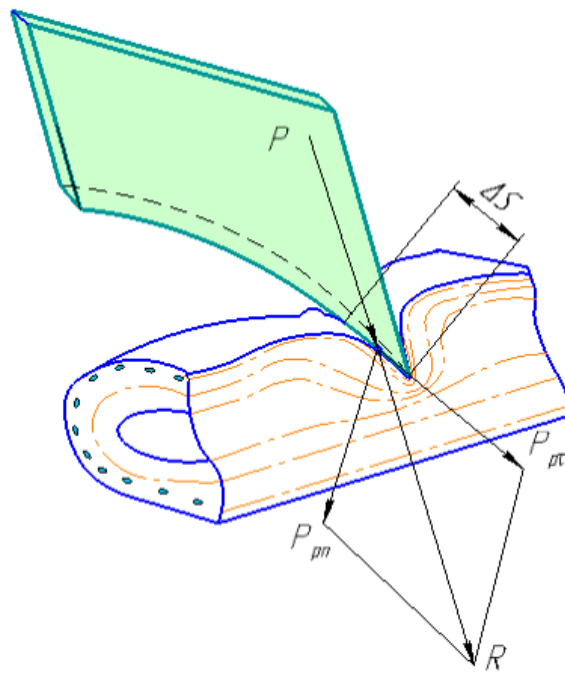
а – схема; 1 – прожилки; 2 – основний матеріал; б – прожилки у стеблі кукурудзи



1 – поперечні серпоподібні леза; 2 – вертикальні клиноподібні леза; 3 – противоріз; 4 – привід живильника; 5 – притискний транспортер; 6 – поздовжній транспортер; 7 – рама із колосами; 8 – привід барабана; 9 – відеокамера; 10 – система перетворення відео в послідовність фотографічних зображень; 11 – система поліпшення якості зображень; 12 – система розпізнавання неякісних зразків; 13 – вихідний інтерфейс системи

<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Соколовський		
Перевір.		Цвіркун		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Хорольський		
Узагальнена структура системи візуального контролю потоку подрібненої сировини із застосуванням технологій цифрової обробки зображень				
		Літ.	Арк.	Аркушів
			1	52
<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>				

**Додаток Д**  
**Моделювання процесу подрібнення рослинної сировини**



Питомий тиск ножа

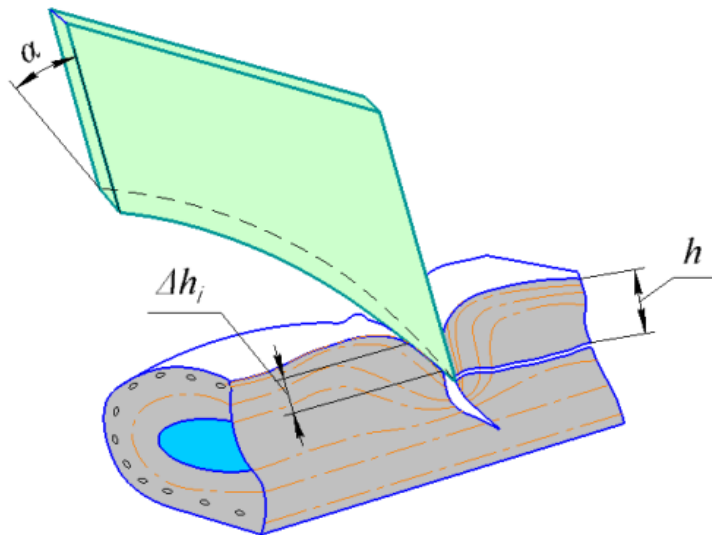
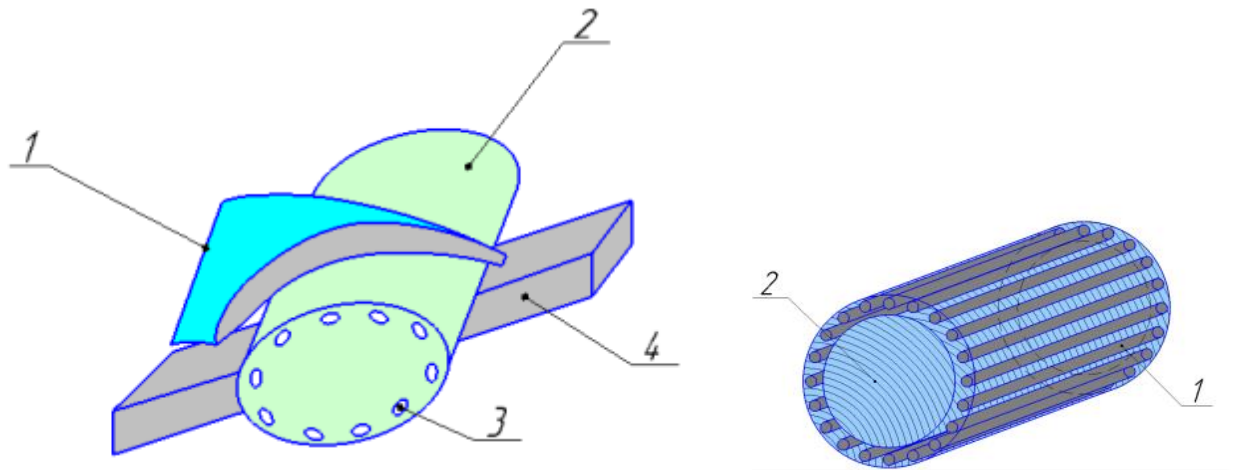


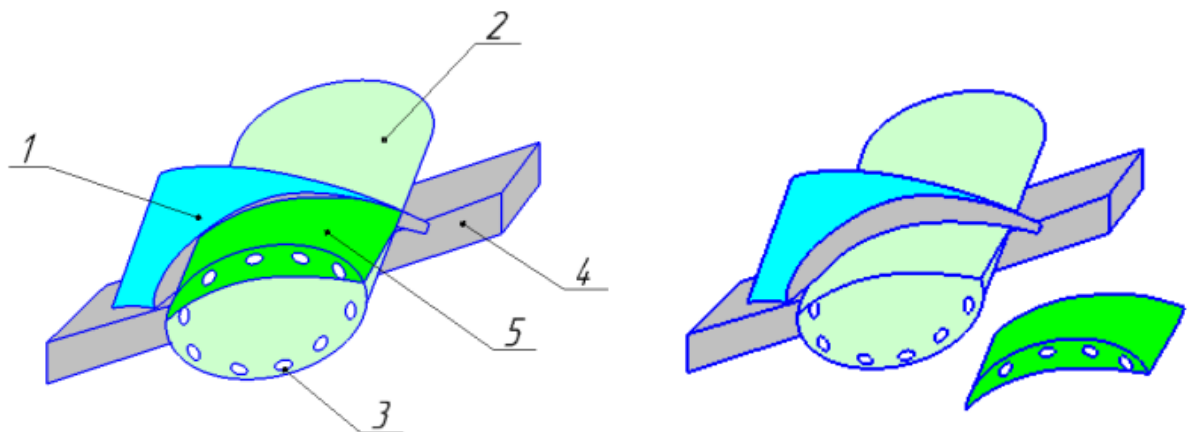
Схема впровадження клину в матеріал, що подрібнюється

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Соколовський				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун					1	52
Н. Контр.	Омельченко				<b>ДонНУЕТ</b>		
Затверд.	Хорольський				<b>Кафедра ЗІДО</b>		
					<b>Моделювання процесу подрібнення рослинної сировини</b>		

**Додаток Е**  
**Моделювання етапів подрібнення рослинної сировини**



1 – серпоподібне лезо комбінованого ножа; 2 – стебло; 3 – прожилки рослинної сировини; 4 – протирижуча пластина



Подрібнення стебла

Відсікання частини стебла

1 – серпоподібне лезо комбінованого ножа; 2 – стебло; 3 – прожилки рослинної сировини; 4 – протирижуча пластина; 5 – частина відсікається частинки, що відірвалася

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Соколовський</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>					1	52
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>				<b>Моделювання етапів подрібнення рослинної сировини</b>		