

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Удосконалення подрібнювача стеблової маси кукурудзи для
виробництва біопалива**

Виконав: здобувач 4 курсу групи АІ-2-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Білецький Назар Янович _____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Білецький Назар Янович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення подрібнювача стеблової маси кукурудзи для виробництва біопалива

керівник роботи Золотовська Олена Володимирівна, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 06.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності підприємства. Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів подрібнювача для отримання біопалива.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Обґрунтування існуючих технологій, конструкцій та обґрунтування теми дипломного проєкту 2. Обґрунтування подрібнювачів для виробництва біопалива. 3.

Конструкторська проробка проєкту. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Аналіз використання побічної продукції (A1). 2. Технологічна схема підготовки біомаси. (A1). 3. Аналіз машин для подрібнення решток (A1). 4. Подрібнювач. Загальний вигляд. (A1). 5. Ротор подрібнювача. (A3). Вал подрібнювача (A3). Ніж подрібнювача (A3). Шнек подачі біомаси (A3) 6. Економічна ефективність.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Золотовська О.В., доцент		
Нормо-контроль	Бойко В.Б., доцент		

7. Дата видачі завдання: 11.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз актуальності проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.65-7.06.65	

Здобувач

(підпис)

Білецький Н.Я.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Золотовська О.В.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Анотація

Білецький Н.Я. Удосконалення подрібнювача стеблової маси кукурудзи для виробництва біопалива/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У дипломному проєкті розглянуто питання удосконалення подрібнювача стеблової маси кукурудзи для підготовки рослинної біомаси до подальшого використання у виробництві біопалива. Проведено аналіз сировинної бази середнього фермерського господарства, технологій підготовки біомаси до енергетичного використання та існуючих машин для подрібнення рослинних решток. Обґрунтовано доцільність застосування роторного ножового подрібнювача.

У конструкторсько-технологічній частині визначено основні параметри машини, зокрема продуктивність, параметри ротора, ножів, приводу та шнека подачі біомаси. Запропоновано удосконалену конструкцію подрібнювача, яка відрізняється наявністю шнекового механізму подачі, раціональними параметрами ротора та покращеними умовами вивантаження подрібненого матеріалу. Виконано обґрунтування матеріалів основних вузлів.

У роботі також розглянуто питання охорони праці під час експлуатації подрібнювача та визначено основні техніко-економічні показники розробки. Встановлено, що впровадження удосконаленого подрібнювача забезпечує підвищення продуктивності, зниження енергетичних витрат та скорочення собівартості подрібнення біомаси.

Ключові слова: подрібнювач, стеблова маса кукурудзи, біомаса, біопаливо, ротор, ножі, шнек, продуктивність, енергоефективність.

ЗМІСТ

Анотація	5
ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ	11
1.1 Загальна характеристика господарства	11
1.2 Земельні ресурси та структура посівних площ	12
1.3 Виробнича діяльність господарства та обсяги утворення побічної продукції кукурудзи	13
1.4 Матеріально-технічна база господарства	14
1.5 Аналіз існуючих напрямів використання побічної продукції кукурудзи	16
1.6 Обґрунтування доцільності впровадження подрібнювача стеблової маси кукурудзи	17
2 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ СТЕБЛОВОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ	20
2.1 Значення рослинної біомаси як джерела енергії	20
2.2 Характеристика стеблової маси кукурудзи	22
2.3 Технології підготовки біомаси до енергетичного використання	25
2.4 Аналіз машин для подрібнення рослинних решток	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	37
3.1 Аналіз технологічного процесу подрібнення стеблової маси кукурудзи	37
3.2 Розрахунок параметрів роторного подрібнювача	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	52
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	52
4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації подрібнювача	52
4.3 Заходи щодо покращення умов праці	54
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЄКТУ	56
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТКИ	66

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України супроводжується постійним зростанням обсягів виробництва сільськогосподарської продукції, що, у свою чергу, призводить до значного збільшення кількості рослинних відходів. Значну частину цих відходів становлять побічні продукти рослинництва, які утворюються після збирання зернових та технічних культур. Однією з найбільш поширених культур, що вирощуються в Україні, є кукурудза. За останні роки площі її посівів значно збільшилися, що обумовлено високою врожайністю та широкими можливостями використання продукції цієї культури у харчовій, кормовій та переробній промисловості.

Разом із зерном кукурудзи утворюється значна кількість рослинних решток, до яких належать стебла, листя, обгортки качанів та інші частини рослин. Після збирання врожаю основна частина цієї біомаси залишається на полях. За різними оцінками, на кожен тону отриманого зерна кукурудзи припадає приблизно від 1 до 1,3 т стеблової маси. Таким чином, загальний обсяг побічної продукції кукурудзи є дуже значним і може становити мільйони тонн щорічно.

Традиційно рослинні рештки часто залишаються на полях для часткового перегнивання або утилізуються шляхом спалювання. Однак такий підхід не можна вважати раціональним з точки зору ефективного використання ресурсів. Спалювання рослинних відходів призводить до забруднення навколишнього середовища та втрати цінної органічної сировини. У сучасних умовах все більшого значення набуває використання відновлюваних джерел енергії, серед яких важливе місце займає біомаса сільськогосподарського походження.

Рослинна біомаса є перспективним видом енергетичної сировини, оскільки вона відноситься до відновлюваних ресурсів і може використовуватися для виробництва теплової та електричної енергії. До основних видів біопалива, які отримують із рослинної сировини, належать

тверде біопаливо (пелети та брикети), біогаз, а також синтез-газ, що утворюється під час термохімічної переробки біомаси. Використання рослинних відходів як енергетичної сировини дозволяє зменшити споживання традиційних видів палива, таких як природний газ, вугілля та нафтопродукти, що є особливо актуальним в умовах енергетичної нестабільності.

Одним із перспективних напрямів використання рослинних решток є виробництво твердого біопалива. Стеблова маса кукурудзи може використовуватися для виготовлення паливних брикетів і пелет, які мають достатньо високу теплотворну здатність та можуть застосовуватися для опалення виробничих та побутових приміщень. Крім того, така біомаса може бути використана у процесах газифікації або піролізу для отримання горючих газів.

Для ефективного використання рослинної біомаси необхідно забезпечити її відповідну технологічну підготовку. Рослинні рештки мають значні габарити, невисоку насипну щільність та волокнисту структуру, що ускладнює їх транспортування, зберігання та подальшу переробку. Тому перед використанням біомаси для енергетичних потреб її необхідно піддавати попередній обробці.

Однією з найважливіших технологічних операцій підготовки рослинної біомаси є подрібнення. Подрібнення дозволяє зменшити розміри частинок матеріалу, підвищити його насипну щільність та покращити умови транспортування і подальшої переробки. Крім того, зменшення розмірів частинок сприяє більш рівномірному сушінню матеріалу, підвищує ефективність процесів пресування у пелети або брикети, а також покращує умови перебігу термохімічних процесів, таких як газифікація або піроліз.

Для подрібнення рослинних решток у сільському господарстві використовують різні типи машин, серед яких найбільш поширеними є ножові, молоткові, дискові та барабанні подрібнювачі. Кожен із цих типів машин має свої конструктивні особливості, переваги та недоліки. Вибір типу

подрібнювача залежить від властивостей рослинної сировини, необхідної фракції подрібненого матеріалу та умов експлуатації машини.

Стеблова маса кукурудзи характеризується значною довжиною, підвищеною волокнистістю та достатньо високою міцністю, що ускладнює процес її подрібнення. Існуючі подрібнювачі рослинних решток не завжди забезпечують необхідну рівномірність подрібнення та можуть мати підвищені енергетичні витрати. Крім того, деякі конструкції машин характеризуються недостатньою продуктивністю або складністю технічного обслуговування.

У зв'язку з цим актуальним завданням є удосконалення конструкцій машин для подрібнення рослинної біомаси, зокрема стеблової маси кукурудзи. Розробка більш ефективних подрібнювачів дозволить підвищити продуктивність технологічних процесів, зменшити енергетичні витрати та покращити якість підготовки біомаси до подальшого використання.

Таким чином, питання підготовки рослинної біомаси до енергетичного використання є важливим напрямом розвитку сучасної агроінженерії. Удосконалення машин для подрібнення рослинних решток сприятиме більш раціональному використанню побічної продукції рослинництва, підвищенню ефективності агропромислового виробництва та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Метою дипломного проєкту є удосконалення конструкції подрібнювача стеблової маси кукурудзи для виробництва біопалива та обґрунтування його основних конструктивних і технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз технологій використання стеблової маси кукурудзи як енергетичної сировини;
- дослідити існуючі конструкції машин для подрібнення рослинних решток;
- обґрунтувати конструкцію удосконаленого подрібнювача стеблової маси кукурудзи;
- виконати інженерні розрахунки основних параметрів машини;

- розробити конструкцію основного робочого вузла подрібнювача;
- оцінити економічну ефективність використання запропонованої конструкції;
- розробити заходи з охорони праці та безпеки під час експлуатації обладнання.

Результати виконаної роботи можуть бути використані для підвищення ефективності переробки рослинної біомаси та впровадження енергоощадних технологій у сільськогосподарському виробництві.

1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ПОДРІБНЮВАЧА СТЕБЛОВОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ

1.1 Загальна характеристика господарства

Для обґрунтування доцільності впровадження подрібнювача стеблової маси кукурудзи в дипломному проєкті розглядається середнє фермерське господарство рослинницького напрямку. Таке господарство спеціалізується переважно на вирощуванні зернових і технічних культур, має орні землі, виробничі приміщення, машинно-тракторний парк, складські площі та транспортні засоби, необхідні для виконання основних технологічних операцій. За розмірами землекористування воно належить до категорії середніх аграрних підприємств, що дозволяє одночасно забезпечувати товарне виробництво зерна і формувати достатню кількість побічної рослинної продукції.

Основною особливістю таких господарств є поєднання відносно високого рівня механізації виробництва з обмеженими можливостями для глибокої переробки відходів рослинництва. У результаті цього побічна продукція, зокрема стебла, листя та інші залишки кукурудзи, здебільшого не розглядаються як цінний енергетичний ресурс, а використовуються частково або взагалі залишаються на полі. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв та необхідності раціонального використання наявних ресурсів така ситуація є економічно не вигідною.

Господарство, прийняте для аналізу, має посівну площу 2200 га. Структура виробництва є типовою для фермерських підприємств зернового напрямку: значну частку займає кукурудза, поряд із якою вирощуються пшениця, соняшник, ячмінь та незначна частина інших культур. Саме кукурудза є тією культурою, яка формує найбільший обсяг побічної продукції,

придатної для енергетичного використання після попередньої механічної підготовки.

У виробничій практиці такого господарства основна увага зосереджується на отриманні зерна як товарної продукції. Разом з тим побічна продукція кукурудзи за своїм обсягом, енергетичним потенціалом і доступністю є важливим резервом підвищення загальної ефективності господарювання. Використання цієї біомаси після подрібнення дає змогу не лише зменшити втрати рослинної сировини, а й створити передумови для часткового забезпечення енергетичних потреб господарства власними ресурсами.

Таким чином, аналіз загальної характеристики середнього фермерського господарства показує, що воно має достатню сировинну, технічну та організаційну базу для впровадження подрібнювача стеблової маси кукурудзи. Це технічне рішення є актуальним як з точки зору більш повного використання побічної продукції, так і з позиції підвищення економічної ефективності виробництва.

1.2 Земельні ресурси та структура посівних площ

Земельні ресурси є основою виробничої діяльності будь-якого аграрного підприємства, оскільки саме вони визначають можливий обсяг виробництва, спеціалізацію господарства та перспективи його розвитку. У прийнятому для аналізу середньому фермерському господарстві загальна площа ріллі становить 2200 га. Розподіл посівних площ між окремими культурами відображає виробничий напрям господарства та його орієнтацію на вирощування зернової й технічної продукції.

У структурі посівів провідне місце займає кукурудза, площа якої становить 800 га. Це свідчить про значну роль цієї культури в господарстві та водночас створює потужну сировинну базу для утворення побічної продукції.

Друге місце займає пшениця з площею 650 га, далі йдуть соняшник, ячмінь та інші культури.

Таблиця 1.1

Структура посівних площ середнього фермерського господарства

№	Культура	Площа, га	Частка, %
1	Кукурудза	800	36,4
2	Пшениця	650	29,5
3	Соняшник	450	20,5
4	Ячмінь	180	8,2
5	Інші культури	120	5,4
	Разом	2200	100,0

Наведені дані свідчать про те, що більше третини всієї ріллі використовується під кукурудзу. Для середнього фермерського господарства це є вагомим показником, оскільки саме така площа забезпечує стабільне утворення великої кількості стеблової маси. У результаті збирання кукурудзи разом із зерном формується значний обсяг побічної продукції, яка за відсутності належної підготовки використовується не повністю.

1.3 Виробнича діяльність господарства та обсяги утворення побічної продукції кукурудзи

Оцінка виробничої діяльності господарства дає змогу визначити не лише обсяги товарної продукції, а й розрахувати кількість побічної рослинної маси, яка може бути використана як енергетична сировина. Для середнього фермерського господарства приймаємо, що середня врожайність кукурудзи становить 7,2 т/га. За посівної площі 800 га валовий збір зерна становить 5760 т на рік.

Разом із зерном утворюється значний обсяг побічної продукції. До неї належать стебла, листя, обгортки та стрижні качанів. Для кукурудзи

характерне високе співвідношення маси побічної продукції до маси зерна, тому в господарстві щорічно утворюється близько 7200 т рослинної маси. Це означає, що за своїм обсягом побічна продукція не лише не поступається основній, а в ряді випадків може навіть перевищувати її за масою.

Таблиця 1.2

Показники виробництва кукурудзи та утворення побічної продукції

Показник	Значення
Площа посіву кукурудзи, га	800
Урожайність зерна, т/га	7,2
Валовий збір зерна, т/рік	5760
Обсяг побічної продукції, т/рік	7200
Потенційно доступно для переробки, т/рік	2880

Показник потенційно доступної для переробки біомаси прийнято на рівні 2880 т/рік. Це відповідає тій частині побічної продукції, яку реально можна залучити до господарського використання без порушення агротехнічних вимог. Частина рослинних решток має залишатися на полі для підтримання балансу органічної речовини в ґрунті, проте значний обсяг біомаси може бути вилучений і використаний як вторинний ресурс.

Таким чином, аналіз виробничої діяльності підтверджує, що середнє фермерське господарство має достатній щорічний обсяг побічної продукції кукурудзи, а отже, впровадження подрібнювача є технічно виправданим і ресурсно забезпеченим.

1.4 Матеріально-технічна база господарства

Ефективність виробництва в аграрному підприємстві значною мірою залежить від рівня технічної оснащеності. Машинно-тракторний парк повинен забезпечувати виконання основних польових, транспортних і допоміжних робіт у визначені строки. Для середнього фермерського господарства характерна наявність тракторів різних тягових класів, зернозбиральної

техніки, ґрунтообробних машин, сівалок, транспортних засобів та допоміжного обладнання.

У господарстві є технічна база, достатня для вирощування кукурудзи, її збирання, транспортування та складування зерна. Разом з тим спеціалізоване обладнання для підготовки побічної продукції до подальшого використання зазвичай відсутнє або представлене технікою, що забезпечує лише поверхнєве подрібнення рослинних решток без контролю якості кінцевої фракції.

Таблиця 1.3

Склад матеріально-технічної бази середнього фермерського господарства

№	Найменування техніки	Марка, модель	Кількість, шт.
1	Трактор	MT3-82	2
2	Трактор	MT3-1221	1
3	Трактор	John Deere 8430	1
4	Зернозбиральний комбайн	CLAAS Tucano / аналог	1
5	Зернозбиральний комбайн	СК-5 «Нива» / аналог	1
6	Сівалка зернова	СЗ-3,6	2
7	Сівалка просапна	УПС-8	1
8	Культиватор	КПС-4	2
9	Дискова борона	БДТ-7	1
10	Плуг	ПЛН-5-35	1
11	Подрібнювач рослинних решток	польовий	1
12	Причіп тракторний	2ПТС-4	2
13	Автомобіль вантажний	КамАЗ / МАЗ	1

Наявність зазначеної техніки дає змогу забезпечити технологічний цикл вирощування кукурудзи та транспортування рослинної маси. Однак існуючий парк машин не вирішує проблему підготовки побічної продукції до енергетичного використання. Саме тому впровадження спеціалізованого подрібнювача є логічним етапом розвитку матеріально-технічної бази господарства.

Крім того, наявність транспортних засобів, складських приміщень і майданчиків для тимчасового зберігання біомаси створює реальні організаційні умови для використання подрібнювача в загальній виробничій системі підприємства.

1.5 Аналіз існуючих напрямів використання побічної продукції кукурудзи

Побічна продукція кукурудзи може мати різні напрями використання. Частина її залишається на полі, де виконує функцію органічної маси, що бере участь у формуванні родючості ґрунту. Інша частина може використовуватися як добриво, кормова добавка або енергетична сировина. Проте на практиці рівень ефективного використання рослинних решток у середніх фермерських господарствах зазвичай залишається невисоким.

Для прийнятого до аналізу господарства структура використання побічної продукції кукурудзи є такою: близько 55 % рослинної маси залишається на полі, 20 % використовується як органічне добриво, 15 % спрямовується на кормові потреби, і лише 10 % залучається до енергетичного використання.

Напрями використання побічної продукції кукурудзи

Напрямок використання	Частка, %	Обсяг, т/рік
Залишається на полі	55	3960
Використовується як добриво	20	1440
Використовується на кормові потреби	15	1080
Спрямовується на енергетичне використання	10	720
Разом	100	7200

Рослинні рештки кукурудзи мають значні розміри, волокнисту структуру і низьку насипну щільність. У такому стані вони малопридатні для транспортування, складування та подальшого використання. Саме тому першочерговим етапом їх підготовки є подрібнення. Воно забезпечує зменшення габаритів частинок, вирівнює структуру матеріалу та покращує умови його використання.

Отже, аналіз існуючих напрямів використання побічної продукції кукурудзи показує, що в господарстві є суттєві резерви для розширення енергетичного використання біомаси, а впровадження подрібнювача є необхідною передумовою для реалізації цього потенціалу.

1.6 Обґрунтування доцільності впровадження подрібнювача стеблової маси кукурудзи

Підготовка рослинної біомаси до подальшого використання потребує застосування спеціалізованого обладнання, яке здатне забезпечити стабільне подрібнення стеблової маси та отримання матеріалу з розмірами частинок, зручними для транспортування, сушіння, ущільнення або безпосереднього

спалювання. Відсутність такого обладнання призводить до того, що значна частина побічної продукції залишається невикористаною.

Для середнього фермерського господарства впровадження подрібнювача є доцільним з кількох причин. По-перше, господарство має достатню сировинну базу: щороку утворюється близько 7200 т побічної продукції кукурудзи, з яких 2880 т реально можуть бути залучені до переробки. По-друге, існуюча технічна база підприємства дозволяє організувати збирання і транспортування біомаси до місця переробки. По-третє, використання подрібненої рослинної маси відкриває можливість її подальшого енергетичного застосування.

Подрібнення є ключовою технологічною операцією, яка забезпечує зменшення розмірів стеблової маси, підвищення її насипної щільності та створення умов для подальшої переробки. Без цієї операції біомаса займає значний об'єм, погано транспортується і практично не може бути використана у більшості енергетичних технологій.

Важливим аргументом на користь впровадження подрібнювача є також енергетичний потенціал побічної продукції кукурудзи. Якщо прийняти нижчу теплоту згоряння сухої рослинної маси на рівні близько 15 МДж/кг, то навіть частина біомаси, доступної для переробки, становить вагомий енергетичний ресурс. Це дозволяє розглядати рослинні рештки не як відхід, а як місцеве відновлюване паливо.

Отже, аналіз господарства, структури посівних площ, обсягів утворення побічної продукції, наявної технічної бази та існуючих напрямів використання біомаси підтверджує доцільність впровадження подрібнювача стеблової маси кукурудзи. Запропонована машина дасть можливість залучити до господарського використання значну кількість рослинної сировини, зменшити її втрати та підвищити загальну ефективність виробництва.

Висновки

У результаті проведеного аналізу встановлено, що середнє фермерське господарство з площею ріллі 2200 га має достатню виробничу базу для

виращування кукурудзи та формування значного обсягу побічної продукції. Частка кукурудзи у структурі посівних площ становить 36,4 %, що забезпечує щорічне утворення близько 7200 т рослинної маси.

Визначено, що реально доступний для переробки обсяг побічної продукції становить близько 2880 т/рік. При цьому існуючі напрями використання біомаси не забезпечують повного залучення цього ресурсу до господарського обороту, оскільки лише 10 % рослинних решток використовується для енергетичних потреб.

Проаналізовано матеріально-технічну базу господарства, яка дозволяє виконувати основні польові роботи, але не містить спеціалізованого обладнання для якісної підготовки стеблової маси кукурудзи до подальшого використання. Це підтверджує необхідність упровадження удосконаленого подрібнювача.

2 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ СТЕБЛОВОЇ МАСИ КУКУРУДЗИ

Сучасний розвиток аграрного виробництва супроводжується значним збільшенням обсягів рослинних решток, які утворюються під час вирощування та збирання сільськогосподарських культур. Однією з найбільш поширених культур у світі та в Україні є кукурудза, площі вирощування якої постійно зростають. Після збирання зерна на полях залишається значна кількість рослинної маси, яка складається зі стебел, листя, обгорток качанів та інших частин рослини.

Традиційно значна частина цієї біомаси залишається на полі або утилізується шляхом спалювання. Проте сучасні тенденції розвитку енергетики передбачають використання рослинних відходів як відновлюваного джерела енергії. Стеблова маса кукурудзи є перспективною сировиною для виробництва твердого біопалива, біогазу, а також для термохімічної переробки.

Ефективне використання цієї біомаси потребує відповідної технологічної підготовки, однією з основних операцій якої є подрібнення рослинної маси. Саме тому важливим завданням агроінженерії є розробка та удосконалення машин для підготовки біомаси до подальшого енергетичного використання.

2.1 Значення рослинної біомаси як джерела енергії

Кукурудза є однією з найважливіших сільськогосподарських культур у світі та в Україні. Вона характеризується високою врожайністю, широкими можливостями використання та значним потенціалом як джерело біологічної сировини. Кукурудза належить до найбільш продуктивних культур, оскільки формує значну кількість як основної продукції – зерна, так і побічної рослинної маси. У процесі вирощування та збирання цієї культури

утворюється значна кількість побічної продукції, до якої належать стебла, листя, обгортки качанів, стрижні та інші рослинні частини (рис. 2.1).



а) зерно б) качани з обгорткою в) стебла г) стрижні качанів

Рисунок 2.1 – Види побічної продукції кукурудзи

Усі частини рослини кукурудзи знаходять широке застосування у різних галузях сільського господарства та промисловості (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Структура використання зерна та побічної продукції

В Україні побічна продукція кукурудзи поки що використовується менш ефективно. У більшості випадків рослинні рештки залишаються на полях або використовуються як органічне добриво. Частина стеблової маси застосовується у тваринництві як корм або підстилка для тварин. У деяких регіонах кукурудзяні стебла традиційно використовують як тверде паливо для опалення житлових приміщень.

Внаслідок низької поживної цінності солома кукурудзи використовується у тваринництві у відносно невеликих обсягах. Найчастіше її

застосовують як баластний корм або у випадках нестачі інших грубих кормів. Поживність листя та обгортки качанів кукурудзи є дещо вищою порівняно зі стеблами та стрижнями. У деяких сільських регіонах, наприклад на півдні Одеської області, населення традиційно заготовляє кукурудзяні стебла разом із листям для годування худоби в зимовий період. Тварини споживають листя, а стебла після цього використовуються як паливо для обігріву приміщень.

Останніми роками особливої актуальності набуває використання побічної продукції кукурудзи як сировини для виробництва біоенергії. Рослинна біомаса може бути використана для отримання твердих біопалив, таких як пелети та брикети, а також для виробництва біогазу та синтез-газу. Використання рослинних решток як енергетичної сировини дозволяє підвищити ефективність використання аграрних ресурсів, зменшити залежність від викопних джерел енергії та знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, кукурудза є не тільки важливою продовольчою та кормовою культурою, але й значним джерелом рослинної біомаси, яка може використовуватися для виробництва різних видів енергії. Раціональне використання побічної продукції кукурудзи відкриває широкі можливості для розвитку біоенергетики та підвищення енергетичної незалежності агропромислового комплексу.

2.2 Характеристика стеблової маси кукурудзи

Стеблова маса кукурудзи є важливою складовою побічної продукції рослинництва, що утворюється після збирання зерна. До складу цієї біомаси входять різні частини рослини, зокрема стебла, листя, обгортки качанів та стрижні. Загальний обсяг такої побічної продукції може перевищувати масу отриманого зерна. За різними оцінками, на кожен тону зерна кукурудзи припадає приблизно 1–1,3 т рослинних решток.

Стеблова маса характеризується значними геометричними розмірами, високою волокнистістю та порівняно невеликою насипною щільністю. Середня висота рослин кукурудзи може досягати 2–3 м, а діаметр стебел становить 20–35 мм. Такі параметри ускладнюють транспортування та подальшу переробку рослинної маси без попередньої підготовки.

Стебла кукурудзи мають волокнисту структуру, що обумовлена значним вмістом целюлози, геміцелюлози та лігніну. Ці компоненти формують міцний каркас рослинної тканини та визначають механічні властивості матеріалу. Наявність лігніну підвищує жорсткість стебел і водночас сприяє підвищенню теплотворної здатності біомаси під час її використання як палива.

Важливим показником, що визначає можливість використання рослинної маси у біоенергетиці, є її вологість. Вологість стеблової маси кукурудзи після збирання може становити від 20 до 50 %, залежно від погодних умов та терміну збирання врожаю. Для ефективного використання біомаси як палива вологість матеріалу зазвичай знижують до 10–15 %.

Ще одним важливим параметром є насипна щільність біомаси. Для стеблової маси кукурудзи вона зазвичай становить 80–150 кг/м³. Низька щільність ускладнює транспортування та зберігання рослинної маси, тому для підвищення ефективності логістичних процесів її часто піддають подрібненню, пресуванню або гранулюванню.

Стеблова маса кукурудзи характеризується достатньо високою теплотворною здатністю, що робить її перспективною сировиною для виробництва біопалива. Нижча теплота згоряння сухої кукурудзяної біомаси становить у середньому 14–17 МДж/кг, що є близьким до показників інших видів рослинної сировини, таких як солома зернових культур або деревна біомаса.

Фізико-механічні властивості кукурудзяної біомаси значною мірою визначають умови її подрібнення. Волокниста структура матеріалу, значна довжина стебел та їх міцність створюють певні труднощі під час механічної

обробки. Саме тому для ефективної підготовки цієї біомаси до подальшого використання необхідно застосовувати спеціалізовані машини та обладнання.

Основні характеристики стеблової маси кукурудзи наведені в таблиці 2.1.

Частина рослини	Целюлоза, %	Геміцелюлоза, %	Лігнін, %	Вологість після збирання, %	Нижча теплота згоряння, МДж/кг	Середній вихід з 1 га, т	Енергетичний потенціал, ГДж/га
Стебла	35–40	25–30	15–18	25–50	14–17	6–8	90–120
Листя	30–38	20–25	12–16	20–40	15–17	2–3	30–45
Обгортки качанів	33–40	22–28	14–17	20–35	15–18	1–2	15–30
Стрижні качанів	38–45	30–35	12–15	15–30	16–18	0,5–1	8–15
Разом побічна продукція	—	—	—	—	15–17	9–14	140–210

За характеристиками плавкості золи кукурудзяні рослинні рештки близькі до деревної біомаси, що створює кращі умови для їх використання як палива порівняно із соломою зернових культур. Температура плавлення золи деревини становить приблизно 1200 °С, тоді як для стебел кукурудзи цей показник складає близько 1100 °С. Завдяки цьому під час спалювання кукурудзяної біомаси зменшується ймовірність утворення шлакових відкладень у топках котлів.

Важливою перевагою кукурудзиння є також менший вміст хлору. У сухій речовині стебел кукурудзи його кількість становить близько 0,2 %, тоді як у свіжій соломі зернових культур цей показник може досягати 0,75 %. Менша кількість хлору є позитивним фактором, оскільки під час спалювання його сполуки можуть викликати корозію металевих елементів енергетичного обладнання.

За своїм елементарним складом кукурудзиння майже не відрізняється від соломи зернових культур, тому їх теплота згоряння є приблизно

однаковою. Властивості побічної продукції рослинництва можуть змінюватися залежно від умов вирощування культури, типу ґрунту, погодних умов та строків збирання врожаю.

Найбільший вплив на теплотворну здатність кукурудзяної біомаси має вологість матеріалу. Чим більша вологість, тим нижча ефективність спалювання, оскільки частина теплової енергії витрачається на випаровування води. Тому перед використанням біомаси як палива її часто підсушують або зменшують вологість під час технологічної підготовки.

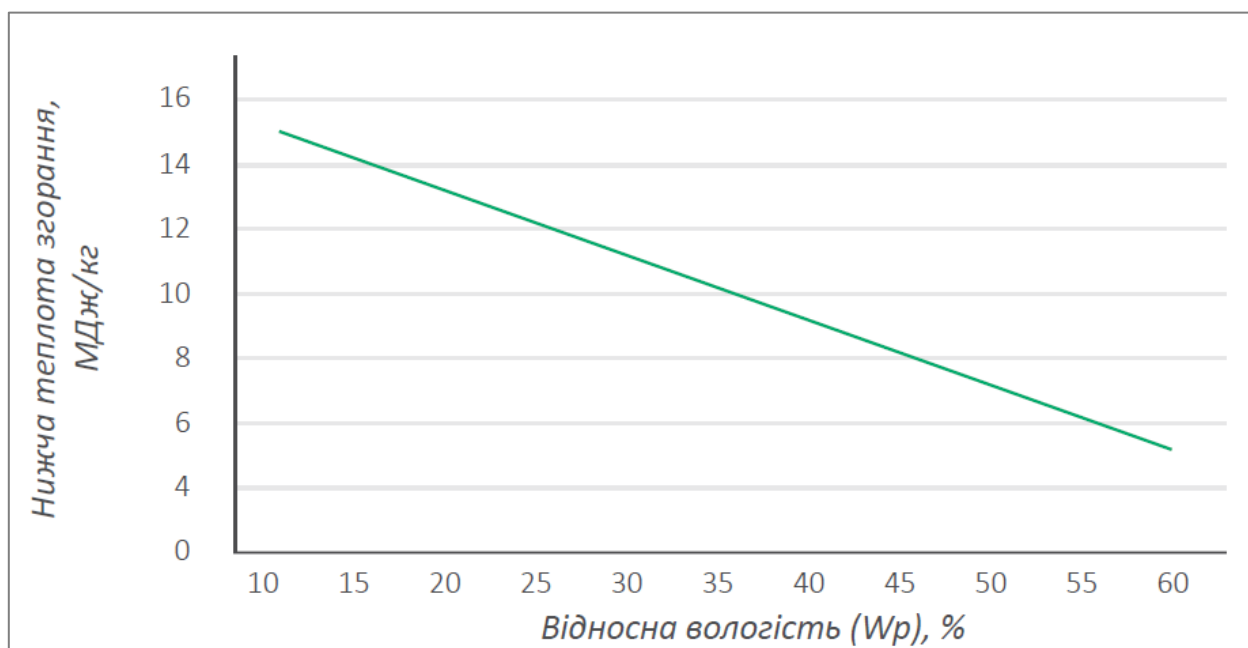


Рисунок 2.3 – Залежність теплотворної здатності кукурудзяної біомаси від вологості

2.3 Технології підготовки біомаси до енергетичного використання

Перед використанням рослинної біомаси для енергетичних цілей необхідно виконати ряд технологічних операцій, які забезпечують її підготовку до подальшої переробки.

Основними операціями підготовки біомаси є:

- збирання рослинних решток;
- транспортування;

- подрібнення;
- сушіння;
- пресування або гранулювання.

Ефективне використання стеблової маси кукурудзи як енергетичної сировини значною мірою залежить від технології її збирання та підготовки до подальшої переробки. Важливим етапом формування біомаси є процес збирання врожаю кукурудзи, оскільки саме під час цієї операції формується основна маса рослинних решток, які можуть бути використані як сировина для виробництва біопалива.

Залежно від застосовуваної техніки та технологічної організації процесу виділяють декілька основних схем збирання кукурудзи на зерно.

1. Збирання кукурудзозбиральними комбайнами з подальшою доробкою качанів на стаціонарі:
 - з одночасним очищенням качанів від обгорток;
 - без очищення качанів від обгорток.
2. Збирання зернозбиральними комбайнами, оснащеними кукурудзяними жатками.
3. Збирання комбайнами зерно-стрижневої суміші.

На сучасному етапі найбільш поширеним способом збирання товарної кукурудзи є комбайновий обмолот качанів безпосередньо у полі із подрібненням і розкиданням рослинної маси при використанні зернозбиральних комбайнів з кукурудзяними жатками. Така технологія вважається найбільш економічно доцільною. Порівняно із збиранням кукурудзи у качанах вона забезпечує приблизно у 1,8–2 рази менші витрати праці та на 20–25 % менші витрати палива.

Лише окремі господарства застосовують збирання кукурудзи у необмолочених качанах з подальшим стаціонарним обмолотом. Такий спосіб використовується переважно на насіннєвих підприємствах, де основною метою вирощування культури є отримання гібридного насіння. У цьому

випадку додатково можуть заготовлюватися стрижні качанів, які також можуть використовуватися як біоенергетична сировина.

Збирання зерно-стрижневої суміші в Україні поки що застосовується обмежено. При збиранні кукурудзи зернозбиральними комбайнами, оснащеними кукурудзяними жатками, рослинні рештки розподіляються приблизно таким чином:

- стерня – близько 10 % маси зерна;
- рослинні залишки за жаткою – приблизно 96 % маси зерна;
- залишки за комбайном – близько 24 % маси зерна (рис. 1.6).

Для подальшого використання кукурудзяної біомаси як палива важливим етапом є її заготівля та ущільнення. Одним із найбільш ефективних способів підготовки біомаси є пресування у тюки. Завдяки ущільненню сировини більш ніж у 4 рази значно підвищується ефективність транспортування та зменшуються необхідні площі для зберігання.

Технологічні схеми збирання побічної продукції кукурудзи з формуванням тюків можна умовно поділити на чотири основні типи (рис.2.4) [].

1. Однопрохідна система. Зернозбиральний комбайн з'єднаний із прес-підбирачем, що дозволяє формувати тюки кукурудзиння одночасно із обмолотом зерна.
2. Двопрохідна система. Зернозбиральний комбайн з кукурудзяною жаткою формує валок рослинних решток, після чого трактор з прес-підбирачем формує тюки.
3. Трипрохідна система. Використовується зернозбиральний комбайн, трактор з мульчувачем-валкоутворювачем та трактор з прес-підбирачем великих прямокутних або рулонних тюків.
4. Багатопрохідна система. Передбачає застосування зернозбирального комбайна, мульчувача, граблів та прес-підбирача.

З огляду на можливість використання стандартної техніки, яка вже наявна у більшості агровиробників, а також з урахуванням меншого контакту

біомаси із ґрунтом, для умов України найбільш доцільною вважається трипрохідна технологічна схема заготівлі кукурудзяних рослинних решток.



а) однопрохідна система: комбайн з прес-підбирачем



б) двопрохідна система: комбайн з жаткою валкоутворювачем + трактор з прес-підбирачем



в) Трипрохідна система: комбайн + трактор з мульчувачем-валкоутворювачем +трактор з прес-підбирачем



г) Багатопрохідна система: комбайн + трактор з мульчувачем +трактор з граблями + трактор з прес-підбирачем

Рисунок 2.4 – Технологічні схеми збирання побічної продукції кукурудзи на зерно

Таким чином, під час збирання кукурудзи на зерно на полі залишається значна кількість рослинних решток, до складу яких входять стебла, листя та інші частини рослин. Залежно від застосованої технології збирання ці рештки можуть залишатися у вигляді стоячої стерні, розподіленої по поверхні поля подрібненої маси або сформованих валків. Розподіл основної частини рослинних залишків після проходу зернозбирального комбайна представлено на рис. 2.5.

Як видно зі схеми, частина біомаси залишається у вигляді стерні, інша частина розподіляється за жаткою, а певна кількість рослинної маси потрапляє у залишки за комбайном.

Значна частина цієї біомаси може бути використана як сировина для виробництва біопалива або інших видів енергетичних ресурсів. Однак рослинні рештки кукурудзи мають значні геометричні розміри, низьку насипну щільність та волокнисту структуру, що ускладнює їх

транспортування, зберігання та подальшу переробку. Тому перед використанням цієї біомаси у технологіях виробництва біопалива її необхідно піддавати попередній механічній обробці.



Рисунок 2.5 – Розподіл рослинних решток кукурудзи після збирання зернозбиральним комбайном.

Однією з основних операцій підготовки рослинної біомаси є подрібнення стеблової маси. Подрібнення дозволяє зменшити розміри частинок матеріалу, підвищити його насипну щільність, покращити умови транспортування та створити оптимальні умови для подальших технологічних процесів, таких як сушіння, пресування у пелети або брикети, а також термохімічна переробка.

Крім того, подрібнення сприяє більш рівномірному горінню біомаси та підвищує ефективність її використання як палива. Саме тому важливим елементом технологічного процесу підготовки кукурудзяної біомаси є застосування спеціальних машин для подрібнення рослинних решток.

У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення конструкції подрібнювачів стеблової маси кукурудзи, що дозволить підвищити ефективність підготовки біомаси до подальшого енергетичного використання.

2.4 Аналіз машин для подрібнення рослинних решток

Підготовка рослинної біомаси до подальшого використання як енергетичної сировини передбачає виконання ряду технологічних операцій, серед яких важливе місце займає подрібнення. Подрібнення дозволяє зменшити розміри частинок матеріалу, підвищити насипну щільність біомаси та покращити умови її транспортування, зберігання і подальшої переробки. Особливо важливим є подрібнення стеблової маси кукурудзи, оскільки ця сировина має значні геометричні розміри, високу волокнистість і порівняно малу щільність.

У сільському господарстві для подрібнення рослинних решток застосовують різні типи машин, які відрізняються за конструкцією робочих органів, принципом дії та умовами використання. Найбільш поширеними є такі типи подрібнювачів:

- роторні подрібнювачі;
- молоткові подрібнювачі;
- ножові подрібнювачі;
- барабанні подрібнювачі;
- мульчувачі.

Роторні подрібнювачі (рис.2.6) широко застосовуються для подрібнення рослинних решток на полях після збирання врожаю. Основним робочим органом таких машин є ротор, на якому встановлюються ножі або молотки. Під час обертання ротора робочі органи захоплюють рослинну масу та подрібнюють її до необхідної фракції. Перевагами таких машин є висока продуктивність і можливість роботи з великою кількістю рослинної маси.

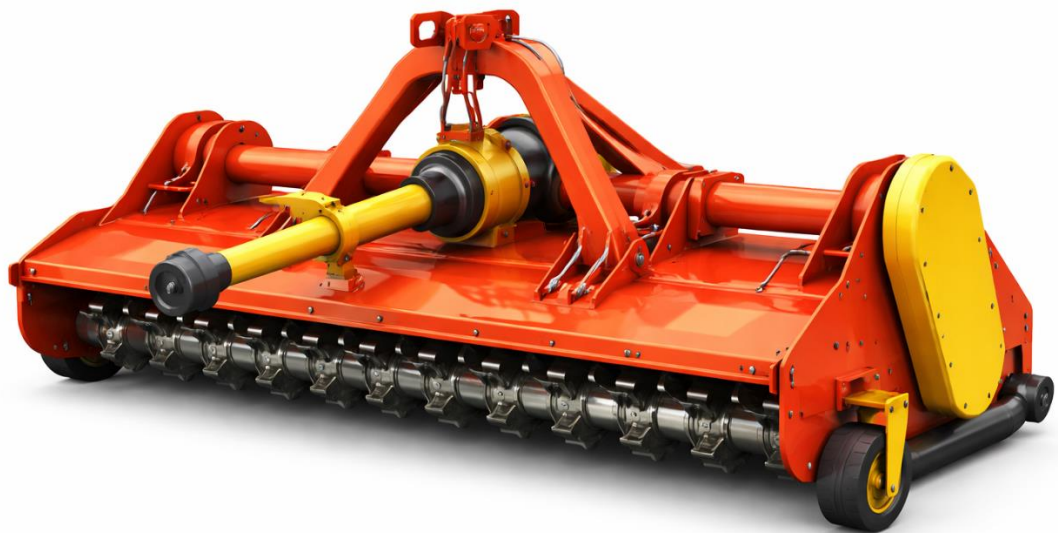


Рисунок 2.6 – Роторний подрібнювач рослинних решток ПРР-280

Молоткові подрібнювачі (рис.2.7) працюють за принципом ударного руйнування матеріалу. Основними робочими органами є молотки, що закріплені на роторі та вільно обертаються. Під час роботи молотки наносять удари по рослинній масі, внаслідок чого відбувається її подрібнення. Такі машини характеризуються простотою конструкції та універсальністю використання, однак мають підвищені енергетичні витрати.



Рисунок 2.7 - Молотковий подрібнювач зерна та качанів кукурудзи Фермер Д-2 потужністю 2,7 кВт

Ножові подрібнювачі використовують принцип різання матеріалу. Робочими органами є ножі, які встановлюються на роторі або диску. Під час роботи ножі зрізають і подрібнюють рослинну масу. Основною перевагою ножових подрібнювачів є більш рівномірний розмір отриманої фракції та менші витрати енергії порівняно з молотковими машинами.

Барабанні подрібнювачі (рис.2.8) застосовуються для подрібнення різних видів рослинної біомаси, зокрема гілок, стебел та інших рослинних матеріалів. У таких машинах подрібнення здійснюється за допомогою ножів, встановлених на обертовому барабані. Цей тип подрібнювачів забезпечує достатньо високу продуктивність та стабільність роботи.



Рисунок 2.8 – Подрібнювач Pezzolato PTH 500

Мульчувачі (рис.2.9) широко використовуються у польових умовах для подрібнення рослинних решток безпосередньо на поверхні ґрунту. Під час роботи мульчувача рослинна маса подрібнюється та рівномірно розподіляється по поверхні поля. Такі машини сприяють покращенню структури ґрунту та прискорюють процес розкладання органічних решток.



Рисунок 2.9 – Мульчер до мінітрактора SCQ 180 (подрібнювач пожнивних решток)

Разом з тим більшість існуючих подрібнювачів рослинних решток розроблялися для виконання агротехнічних операцій, пов'язаних із заробкою рослинної маси у ґрунт. Для використання біомаси у біоенергетичних технологіях необхідно отримувати подрібнений матеріал з певними розмірами частинок та більш рівномірною структурою.

Крім того, під час подрібнення кукурудзяних стебел виникають додаткові труднощі, пов'язані з їх волокнистою структурою та підвищеною міцністю. Це призводить до збільшення навантаження на робочі органи машин, підвищеного зносу ножів та збільшення енергетичних витрат.

Аналіз існуючих типів подрібнювачів показує, що найбільш ефективними для подрібнення стеблової маси кукурудзи є роторні ножові та барабанні подрібнювачі. Вони забезпечують достатню продуктивність, рівномірність подрібнення та можливість роботи з великою кількістю волокнистої біомаси. Молоткові подрібнювачі характеризуються універсальністю, однак потребують більших енергетичних витрат.

Таблиця 2.2

Порівняльна характеристика подрібнювачів рослинних решток

Тип подрібнювача	Робочий орган	Принцип подрібнення	Переваги	Недоліки	Доцільність використання для стебел кукурудзи
Роторний ножовий	Ротор з жорстко закріпленими ножами	Різання рослинної маси ножами під час обертання ротора	Висока продуктивність, рівномірна фракція, відносно невеликі енергетичні витрати	Зношування ножів, необхідність періодичного заточування	Висока
Молотковий	Ротор з шарнірними молотками	Подрібнення за рахунок ударів молотків по матеріалу	Простота конструкції, універсальність	Велике енергоспоживання, нерівномірна фракція	Середня
Барабанний	Барабан з ножами	Зрізання матеріалу ножами на обертовому барабані	Висока продуктивність, стабільність роботи	Складніша конструкція, більша маса машини	Висока
Дисковий	Обертовий диск з ножами	Різання матеріалу ножами, встановленими на диску	Висока швидкість різання, компактність	Обмежена продуктивність для довгих стебел	Низька
Мульчувач	Ротор з ножами або молотками	Подрібнення та розподіл рослинної маси по поверхні ґрунту	Можливість роботи безпосередньо на полі, рівномірне розподілення решток	Нерівномірний розмір частинок	Середня

У зв'язку з цим доцільним є удосконалення конструкції роторного подрібнювача стеблової маси кукурудзи з метою підвищення ефективності процесу подрібнення, зниження енергоспоживання та отримання матеріалу з

оптимальними розмірами частинок для подальшого використання у виробництві біопалива.

Висновки

1. Проведено аналіз використання побічної продукції кукурудзи як енергетичної сировини. Встановлено, що стеблова маса кукурудзи має значний енергетичний потенціал і може застосовуватися для виробництва біопалива.

2. Досліджено основні фізико-механічні властивості кукурудзяної біомаси та розглянуто технологічні схеми збирання кукурудзи, в результаті яких утворюється значна кількість рослинних решток.

3. Встановлено, що для ефективного використання кукурудзяної біомаси необхідною технологічною операцією є її подрібнення, яке забезпечує покращення умов транспортування, зберігання та подальшої переробки.

4. Аналіз існуючих подрібнювачів показав, що найбільш доцільним для подрібнення стеблової маси кукурудзи є використання роторних ножових подрібнювачів, конструкцію яких доцільно удосконалити для підвищення ефективності процесу подрібнення.

З КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

3.1 Аналіз технологічного процесу подрібнення стеблової маси кукурудзи

Стеблова маса кукурудзи є складним за фізико-механічними властивостями матеріалом, що характеризується значною довжиною стебел, волокнистою структурою та достатньо високою міцністю. Ці властивості суттєво впливають на процес механічної обробки рослинної біомаси та визначають вимоги до конструкції подрібнювального обладнання.

Подрібнення стеблової маси є однією з основних операцій підготовки біомаси до подальшого використання у біоенергетичних технологіях. Основною метою цього процесу є зменшення розмірів частинок рослинної маси, підвищення її насипної щільності та покращення умов транспортування, зберігання і подальшої переробки.

Технологічний процес подрібнення рослинної біомаси включає декілька основних стадій:

- подачу рослинної маси у робочу зону машини;
- захоплення матеріалу робочими органами;
- різання або руйнування стебел;
- подальше подрібнення матеріалу;
- вивантаження подрібненої маси.

Основною операцією процесу подрібнення є різання стебел кукурудзи, яке здійснюється за допомогою ножів або інших ріжучих елементів. Під час різання відбувається руйнування волокнистої структури матеріалу під дією механічних сил. Ефективність процесу різання залежить від ряду факторів, серед яких важливе значення мають швидкість руху ножів, кут різання, геометрія ріжучих елементів та фізико-механічні властивості рослинної сировини.

Процес подрібнення можна розглядати як комбінацію декількох механічних впливів на матеріал, зокрема: різання; удар; зминання; розрив волокон.

Найбільш ефективним способом подрібнення стеблової маси кукурудзи є різання, оскільки воно забезпечує менші енергетичні витрати порівняно з ударним руйнуванням матеріалу. Саме тому у більшості сучасних подрібнювачів для рослинної біомаси застосовують ножові робочі органи.

Під час подрібнення кукурудзяної біомаси важливе значення мають також параметри робочих органів машини. До основних параметрів належать швидкість обертання ротора, кількість ножів, їх форма та кут встановлення. Від цих параметрів залежить якість подрібнення, продуктивність машини та енергетичні витрати процесу.

Крім того, значний вплив на ефективність подрібнення має вологість рослинної маси. Зі збільшенням вологості підвищується еластичність рослинних тканин, що може ускладнювати процес різання. Тому для підвищення ефективності подрібнення бажано використовувати біомасу з оптимальною вологістю.

Таким чином, аналіз технологічного процесу подрібнення стеблової маси кукурудзи показує, що для ефективної підготовки біомаси до подальшого використання необхідно застосовувати подрібнювачі з ножовими робочими органами, які забезпечують інтенсивне різання рослинної маси. Саме такі машини здатні забезпечити необхідну продуктивність процесу та отримання подрібненого матеріалу з оптимальними розмірами частинок.

Отримані результати аналізу технологічного процесу подрібнення використовуються для подальшого обґрунтування конструкційної схеми подрібнювача стеблової маси кукурудзи, що розглядається у наступному підрозділі.

3.2 Розрахунок параметрів роторного подрібнювача

Для удосконаленого роторного ножового подрібнювача стеблової маси кукурудзи приймаємо: довжина ротора $L = 0,5$ м; діаметр ротора $D = 0,28$ м; кількість ножів $z = 8$; розміри ножа $120 \times 40 \times 8$ мм; діаметр вала ротора $d = 0,04$ м; діаметр шнека подачі $D_{\text{ш}} = 0,14$ м; довжина шнека $L_{\text{ш}} = 0,4$ м;

крок шнека $S = 0,08$ м; частота обертання ротора $n = 1000$ об/хв; середня товщина шару подачі матеріалу $h = 0,03$ м;

швидкість подачі матеріалу $v = 0,5$ м/с; середня насипна щільність стеблової маси кукурудзи $\rho = 120$ кг/м³; коефіцієнт заповнення робочої зони $\varphi = 0,75$.

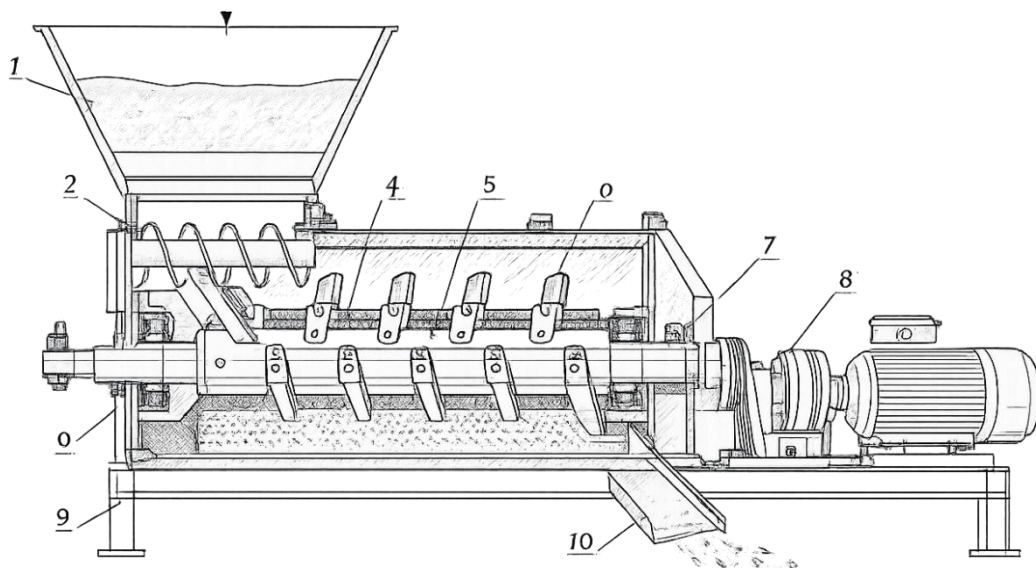


Рисунок 3.1 – Конструкційна схема роторного подрібнювача

1 -бункер, 2 -шнек подачі, 3 -корпус подрібнювача, 4 -ротор, 5 -ножі, 6 - вал ротора, 7 -привід (клинопасова передача), 8 -електродвигун, 9 -рама, 10 -вивантажувальний патрубок

Продуктивність подрібнювача визначається кількістю стеблової маси кукурудзи, яка проходить через робочу камеру за одиницю часу. Для

удосконаленого роторного ножового подрібнювача, конструкція якого передбачає ротор діаметром 280 мм і довжиною 500 мм, теоретичну продуктивність визначаємо за площею потоку матеріалу, що надходить у зону різання.

Теоретична об'ємна продуктивність подрібнювача визначається за формулою:

$$Q = L \cdot h \cdot v \cdot \varphi$$

де

L – довжина ротора, м;

h – товщина шару матеріалу, що подається, м;

v – швидкість подачі матеріалу, м/с;

φ – коефіцієнт заповнення робочої зони.

Для розрахунку приймаємо:

$L = 0,5$ м, $h = 0,03$ м, $v = 0,5$ м/с; $\varphi = 0,75$

Тоді

$$Q_v = 0,5 \cdot 0,03 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 0,005625 \text{ м}^3/\text{с}$$

Масова продуктивність подрібнювача становить:

$$Q_m = Q_v \cdot \rho$$

де $\rho = 120$ кг/м³ – середня насипна щільність стеблової маси кукурудзи.

Після підстановки числових значень одержимо:

$$Q_m = 0,005625 \cdot 120 = 0,675 \text{ кг/с}$$

У перерахунку на годинну продуктивність маємо:

$$Q_m = 0,675 \cdot 3600 = 2430 \text{ кг/Год}$$

Тобто

$$Q_m = 2,43 \text{ т/год.}$$

Отже, розрахункова продуктивність удосконаленого подрібнювача становить близько 2,43 т/год. З урахуванням нерівномірності подачі біомаси та можливих експлуатаційних втрат практична продуктивність може бути прийнята на рівні 2,2...2,4 т/год, що відповідає вимогам до машин для підготовки рослинної біомаси до подальшого використання у виробництві біопалива.

Ротор є основним робочим органом подрібнювача, який забезпечує процес різання стеблової маси кукурудзи. Основними параметрами ротора є його діаметр, довжина, частота обертання, кількість ножів та лінійна швидкість різання.

Для удосконаленого подрібнювача приймаємо такі конструктивні параметри ротора: діаметр ротора $D = 0,28$ м; довжина ротора $L = 0,5$ м; кількість ножів $z = 8$; частота обертання ротора $n = 1000$ об/хв. Лінійна швидкість ножів ротора визначається за формулою:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$$

де

D – діаметр ротора, м;

n – частота обертання ротора, об/хв.

Підставимо прийняті значення:

$$v = \frac{3,14 \cdot 0,28 \cdot 1000}{60}$$

$$v = 14,65 \text{ м/с}$$

Отже, лінійна швидкість ножів ротора становить:

$$v \approx 14,7 \text{ м/с}$$

Таке значення швидкості відповідає рекомендованому діапазону швидкостей різання для подрібнення рослинної біомаси, який становить 10–25 м/с.

Крок розташування ножів по колу ротора визначається за формулою:

$$t = \frac{\pi \cdot D}{z}$$

де

z – кількість ножів.

Підставимо значення:

$$t = \frac{3,14 \cdot 0,28}{8}$$

$$t = 0,11 \text{ м}$$

Отже, відстань між ножами по колу ротора становить:

$$t = 110 \text{ мм}$$

Довжина робочої частини ротора повинна відповідати ширині подрібнювальної камери. Для забезпечення ефективного подрібнення рослинної маси приймаємо:

$$L = 0,5 \text{ м}$$

При такій довжині ротора забезпечується достатня площа контакту ножів з матеріалом і рівномірний розподіл навантаження по ширині машини.

Кутову швидкість ротора визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Підставимо значення:

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000}{60}$$

$$\omega = 104,7 \text{ рад/с}$$

Отже, для удосконаленого подрібнювача прийнято ротор діаметром 280 мм і довжиною 500 мм, на якому встановлено 8 ножів. При частоті обертання 1000 об/хв лінійна швидкість ножів становить приблизно 14,7 м/с, що забезпечує ефективне різання стеблової маси кукурудзи. Відстань між ножами по колу ротора дорівнює 110 мм, що забезпечує рівномірне подрібнення рослинної біомаси.

Ножі є основними робочими елементами подрібнювача, які безпосередньо здійснюють різання стеблової маси кукурудзи. Від їх геометричних параметрів, міцності та матеріалу залежить ефективність подрібнення, енергетичні витрати та довговічність роботи машини.

Для удосконаленого подрібнювача приймаємо ножі прямокутної форми з такими розмірами: довжина ножа $l = 120$ мм; ширина ножа $b = 40$ мм; товщина ножа $s = 8$ мм. Матеріал ножів – сталь 65Г, яка широко використовується для виготовлення ріжучих інструментів і має високу зносостійкість.

Силу різання визначаємо за формулою:

$$F = \tau \cdot A$$

де

τ – питомий опір різанню рослинної маси, Па;

A – площа перерізу матеріалу, що зрізається, м².

Для стеблової маси кукурудзи приймаємо питомий опір різанню:

$$\tau = 0,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Товщина шару матеріалу, що зрізається одним ножом:

$$h = 0,03 \text{ м}$$

Ширина ножа:

$$b = 0,04 \text{ м}$$

Площа перерізу матеріалу:

$$A = b \cdot h$$

$$A = 0,04 \cdot 0,03$$

$$A = 0,0012 \text{ м}^2$$

Тоді сила різання становить:

$$F = 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,0012$$

$$F = 720 \text{ Н}$$

Напруження у ножі визначаємо за формулою:

$$\sigma = \frac{F}{A_n}$$

де

A_n – площа поперечного перерізу ножа.

$$A_n = b \cdot s$$

$$A_n = 0,04 \cdot 0,008$$

$$A_n = 0,00032 \text{ м}^2$$

Тоді

$$\sigma = \frac{720}{0,00032}$$

$$\sigma = 2,25 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Або

$$\sigma = 2,25 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для сталі 65Г після термообробки становить приблизно:

$$\sigma_{\text{дон}} = 600 \text{ МПа}$$

Оскільки

$$\sigma < \sigma_{\text{доп}}$$

то міцність ножа є достатньою.

Для ефективного різання рослинної біомаси приймаємо кут заточування ножа:

$$\alpha = 30^\circ$$

Отже, для удосконаленого подрібнювача прийнято ножі розмірами $120 \times 40 \times 8$ мм, виготовлені зі сталі 65Г. Розрахункова сила різання стеблової маси кукурудзи становить 720 Н, при цьому напруження у ножі дорівнює 2,25 МПа, що значно менше допустимого для обраного матеріалу. Отже, прийнята конструкція ножів забезпечує необхідну міцність і надійність роботи подрібнювача.

Потужність приводу подрібнювача визначається роботою, яка витрачається на подрібнення стеблової маси кукурудзи та подолання механічних втрат у вузлах машини. Основною складовою цієї потужності є енергія, необхідна для різання рослинної маси ножами ротора.

Потужність, що витрачається на різання матеріалу, визначається за формулою:

$$P = F \cdot v$$

де

F – сила різання, Н;

v – лінійна швидкість ножів ротора, м/с.

Із попереднього розрахунку сила різання одного ножа становить:

$$F = 720 \text{ Н}$$

Лінійна швидкість ножів ротора (п. 2.5)

$$v = 14,7 \text{ м/с}$$

Тоді потужність, що витрачається на роботу одного ножа,

$$P_1 = 720 \cdot 14,7$$

$$P_1 = 10584 \text{ Вт}$$

Або

$$P_1 = 10,58 \text{ кВт}$$

Оскільки одночасно в процесі різання бере участь лише частина ножів ротора, приймаємо коефіцієнт одночасної роботи ножів

$$k = 0,3$$

Тоді сумарна потужність на різання становить:

$$P = P_1 \cdot k$$

$$P = 10,58 \cdot 0,3$$

$$P = 3,17 \text{ кВт}$$

Для врахування втрат у підшипниках, ремінній передачі та інших механізмах вводиться коефіцієнт запасу:

$$K_3 = 1,3$$

Тоді необхідна потужність приводу:

$$P_{\text{дв}} = P \cdot k_3$$

$$P_{\text{дв}} = 3,17 \cdot 1,3$$

$$P_{\text{дв}} = 4,12 \text{ кВт}$$

Для забезпечення надійної роботи подрібнювача приймаємо стандартний електродвигун з невеликим запасом потужності.

Приймаємо електродвигун типу: AIP100L2, потужність – 5,5 кВт, частота обертання – 3000 об/хв, напруга – 380 В.

Передача обертання на ротор здійснюється через клиноремінну передачу, яка забезпечує зниження частоти обертання до необхідного значення $n = 1000$ об/хв

У результаті розрахунку встановлено, що необхідна потужність приводу подрібнювача становить приблизно 4,1 кВт. З урахуванням запасу потужності прийнято електродвигун потужністю 5,5 кВт, який забезпечує надійну роботу машини під час подрібнення стеблової маси кукурудзи.

Для забезпечення рівномірної подачі стеблової маси кукурудзи до робочої камери подрібнювача у конструкції машини передбачено шнековий механізм подачі. Шнек транспортує біомасу з бункера до зони різання та забезпечує стабільну роботу подрібнювача.

Продуктивність шнека визначається за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot n \cdot \varphi$$

де

D – зовнішній діаметр шнека, м;

S – крок витка шнека, м;

n – частота обертання шнека, об/с;

φ – коефіцієнт заповнення.

Для подрібнювача приймаємо:

діаметр шнека $D = 0,14$ м

крок витка $S = 0,08$ м

коефіцієнт заповнення $\varphi = 0,6$

частоту обертання шнека $n = 120$ об/хв

Підставляємо значення у формулу:

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,14^2}{4} \cdot 0,08 \cdot 2 \cdot 0,6$$

$$Q = 0,00615 \cdot 0,08 \cdot 2 \cdot 0,6$$

$$Q = 0,00059 \text{ м}^3/\text{с}$$

Масову продуктивність визначаємо за формулою:

$$Q_m = Q \cdot \rho$$

де

$\rho = 120 \text{ кг/м}^3$ – насипна щільність стеблової маси кукурудзи.

$$Q_m = 0,00059 \cdot 120$$

$$Q_m = 0,071 \text{ кг/с}$$

У перерахунку на годину:

$$Q_m = 0,071 \cdot 3600$$

$$Q_m = 256 \text{ кг/год}$$

Отримана продуктивність шнека забезпечує стабільну подачу матеріалу до робочої камери подрібнювача.

Діаметр вала шнека визначаємо з умови міцності:

$$d = 30 \text{ мм}$$

Такий діаметр забезпечує достатню жорсткість і надійність роботи шнека.

Для конструкції подрібнювача приймаємо:

зовнішній діаметр шнека – 140 мм

діаметр вала – 30 мм

крок витка – 80 мм

довжина шнека – 400 мм

У результаті розрахунку встановлено, що для подачі стеблової маси кукурудзи до робочої камери доцільно застосувати шнек діаметром 140 мм з кроком витка 80 мм та довжиною 400 мм. Такий шнек забезпечує рівномірну подачу матеріалу та стабільну роботу подрібнювача.

Під час проєктування подрібнювача стеблової маси кукурудзи важливе значення має правильний вибір матеріалів для основних вузлів машини. Матеріали повинні забезпечувати необхідну міцність, зносостійкість та надійність роботи обладнання в умовах динамічних навантажень.

Ножі подрібнювача є основними ріжучими елементами, які безпосередньо контактують зі стебловою масою кукурудзи. У процесі роботи вони зазнають значних ударних та абразивних навантажень.

Для виготовлення ножів доцільно використовувати ресорно-пружинну сталь 65Г, яка характеризується високою міцністю, підвищеною зносостійкістю, хорошою здатністю до термічної обробки. Після виготовлення ножі підлягають гартуванню та відпуску до твердості HRC 45...50, що забезпечує тривалий термін експлуатації ріжучих елементів.

Ротор подрібнювача є основним елементом, на якому встановлюються ножі. Він сприймає значні динамічні навантаження, що виникають під час обертання та подрібнення рослинної маси.

Для виготовлення ротора доцільно використовувати конструкційну вуглецеву сталь Ст3 або сталь 20.

Ротор виготовляється у вигляді барабана, до якого приварюються кріпильні елементи для встановлення ножів.

Вал ротора передає крутний момент від електродвигуна до робочого органа подрібнювача та сприймає значні крутні та згинальні навантаження.

Для виготовлення вала доцільно застосовувати сталь 45.

Після механічної обробки поверхні шийок під підшипники шліфуються для забезпечення точності посадки.

Шнек подачі призначений для транспортування рослинної маси з бункера до подрібнювальної камери. Він працює в умовах відносно невеликих механічних навантажень.

Вал шнека виготовляється зі сталі 45, а витки шнека – з листової сталі Ст3 товщиною 3 мм. Така конструкція забезпечує достатню жорсткість і довговічність елемента.

Корпус подрібнювальної камери повинен забезпечувати: жорсткість конструкції; захист робочих органів; безпечну експлуатацію машини. Тому для виготовлення корпусу доцільно використовувати листову сталь Ст3

товщиною 4–5 мм, яка має хороші зварювальні властивості та достатню міцність.

Рама є несучим елементом машини, на якому встановлюються всі основні вузли подрібнювача. Вона повинна мати достатню жорсткість та витримувати статичні і динамічні навантаження.

Раму доцільно виготовляти зі сталевого прокату (швелери або профільні труби) зі сталі Ст3.

У результаті вибору матеріалів для основних вузлів подрібнювача встановлено, що ножі доцільно виготовляти зі сталі 65Г, вал ротора та вал шнека – зі сталі 45, а ротор, корпус та раму – зі сталі Ст3. Такий вибір матеріалів забезпечує необхідну міцність, зносостійкість і надійність роботи подрібнювача під час подрібнення стеблової маси кукурудзи.

Висновки

1. Виконано розрахунок продуктивності подрібнювача, за результатами якого встановлено, що при довжині ротора 500 мм та швидкості подачі матеріалу 0,5 м/с розрахункова продуктивність машини становить близько 2,4 т/год, що відповідає вимогам до обладнання для переробки рослинної біомаси.

2. Проведено розрахунок основних параметрів ротора подрібнювача. Прийнято ротор діаметром 280 мм і довжиною 500 мм з 8 ножами. При частоті обертання 1000 об/хв лінійна швидкість ножів становить 14,7 м/с, що забезпечує ефективне різання стеблової маси кукурудзи.

3. Виконано розрахунок ножів подрібнювача. Встановлено, що ножі розмірами $120 \times 40 \times 8$ мм, виготовлені зі сталі 65Г, забезпечують необхідну міцність і зносостійкість під час роботи подрібнювача.

4. Проведено розрахунок потужності приводу подрібнювача. Встановлено, що необхідна потужність становить приблизно 4,1 кВт, тому для приводу машини доцільно застосувати електродвигун потужністю 5,5 кВт.

5. Виконано розрахунок шнека подачі біомаси. Прийнято шнек діаметром 140 мм, довжиною 400 мм і кроком витка 80 мм, який забезпечує рівномірну подачу рослинної маси до подрібнювальної камери.

6. Обґрунтовано вибір матеріалів для основних вузлів подрібнювача. Ножі виготовляються зі сталі 65Г, вал ротора та вал шнека – зі сталі 45, а корпус, ротор і рама – зі сталі Ст3, що забезпечує необхідну міцність і довговічність конструкції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації подрібнювача стеблової маси кукурудзи працівники можуть піддаватися впливу різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Їх виникнення пов'язане з роботою рухомих частин машини, обертанням робочих органів, переміщенням рослинної маси та використанням електрообладнання. Особливу небезпеку становить наявність ротора з ножами, який обертається з високою швидкістю. У разі порушення правил експлуатації або потрапляння сторонніх предметів до робочої камери можливе травмування працівника. Під час роботи подрібнювача виникає також підвищений рівень шуму та вібрації, що негативно впливає на організм людини. Додатковим фактором є утворення рослинного пилу, який з'являється під час подрібнення сухої біомаси і може подразнювати органи дихання. Небезпека також пов'язана з використанням електричної енергії, оскільки подрібнювач приводиться в дію електродвигуном, що працює від мережі змінного струму. Пошкодження ізоляції, несправність електрообладнання або порушення правил експлуатації можуть призвести до ураження електричним струмом. Крім того, під час подрібнення сухої рослинної маси існує ризик виникнення пожежі, оскільки рослинний пил та сухі рослинні залишки є легкозаймистими матеріалами. Таким чином, під час експлуатації подрібнювача необхідно враховувати вплив зазначених факторів та передбачати відповідні заходи для забезпечення безпечних умов праці.

4.2 Вимоги безпеки під час експлуатації подрібнювача

Безпечна експлуатація подрібнювача стеблової маси кукурудзи забезпечується дотриманням правил техніки безпеки та правильною

організацією робочого місця. До роботи з подрібнювачем допускаються лише працівники, які пройшли відповідний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з конструкцією машини та правилами її експлуатації. Перед початком роботи необхідно перевірити справність основних вузлів подрібнювача, надійність кріплення ножів, стан захисних кожухів і відсутність сторонніх предметів у робочій камері. Особливу увагу необхідно приділяти справності механізму подачі матеріалу та приводу машини. Завантаження рослинної маси повинно здійснюватися тільки через завантажувальний бункер, що забезпечує безпечне переміщення матеріалу до робочої зони. Під час роботи подрібнювача категорично забороняється відкривати захисні кожухи, проводити ремонт або регулювання механізмів, а також очищати робочу камеру від рослинних залишків. Усі роботи з обслуговування машини дозволяється виконувати лише після повної зупинки ротора та відключення електродвигуна від електромережі. Після завершення роботи необхідно вимкнути подрібнювач, дочекатися повної зупинки робочих органів, очистити машину від залишків рослинної маси та провести огляд основних елементів конструкції. Дотримання цих вимог дозволяє забезпечити безпечні умови праці та запобігти виникненню виробничих травм.

Оскільки подрібнювач приводиться в дію електродвигуном, під час його експлуатації особливу увагу необхідно приділяти питанням електробезпеки. Електродвигун працює від трифазної електричної мережі напругою 380 В, що створює потенційну небезпеку ураження електричним струмом. Для запобігання виникненню небезпечних ситуацій корпус електродвигуна та металеві частини машини повинні бути надійно заземлені. Електропроводка повинна мати справну ізоляцію, а всі електричні з'єднання повинні бути захищені від механічних пошкоджень і впливу вологи. Для захисту електричної мережі та обладнання необхідно використовувати автоматичні вимикачі, які забезпечують вимкнення електроживлення у разі короткого замикання або перевантаження. Під час експлуатації подрібнювача не допускається використання пошкоджених кабелів або несправних

електричних приладів. У разі виявлення будь-яких несправностей електрообладнання роботу машини необхідно негайно припинити та провести ремонтні роботи. Дотримання правил електробезпеки дозволяє знизити ризик ураження електричним струмом та забезпечити безпечну роботу обладнання.

Під час подрібнення рослинної біомаси виникає значна кількість рослинного пилу, що може створювати пожежонебезпечні умови. Суха стеблова маса кукурудзи та рослинний пил є легкозаймистими матеріалами, тому під час роботи подрібнювача необхідно дотримуватися вимог пожежної безпеки. Робоче місце повинно підтримуватися в чистоті, а накопичення рослинного пилу та відходів біомаси повинно регулярно усуватися. У виробничих приміщеннях, де використовується подрібнювач, забороняється застосування відкритого вогню або виконання робіт, пов'язаних з іскроутворенням. Для ліквідації можливих осередків займання на робочому місці повинні бути встановлені засоби пожежогасіння, зокрема порошкові або вуглекислотні вогнегасники. Працівники повинні бути ознайомлені з правилами пожежної безпеки та вміти користуватися засобами пожежогасіння. Дотримання цих вимог дозволяє значно знизити ризик виникнення пожежі під час експлуатації подрібнювача.

4.3 Заходи щодо покращення умов праці

Для забезпечення безпечних та комфортних умов праці під час експлуатації подрібнювача необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів. Одним із важливих заходів є встановлення захисних кожухів на рухомих частинах машини, що запобігає контакту працівників з обертовими елементами конструкції. Для зменшення запиленості повітря робочої зони доцільно використовувати системи вентиляції або місцеві витяжні пристрої. Працівники, які обслуговують подрібнювач, повинні використовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри, рукавички та респіратори. Важливим фактором забезпечення безпечної роботи

є також достатнє освітлення робочого місця, яке дозволяє працівникам контролювати роботу машини та своєчасно виявляти можливі несправності. Регулярне технічне обслуговування подрібнювача, перевірка стану ножів, підшипників та механізмів подачі матеріалу дозволяють підтримувати обладнання у справному стані та запобігати аварійним ситуаціям. Реалізація зазначених заходів сприяє покращенню умов праці та підвищенню рівня безпеки під час експлуатації подрібнювача стеблової маси кукурудзи.

Висновки

У розділі розглянуто основні питання охорони праці під час експлуатації подрібнювача стеблової маси кукурудзи. Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть виникати під час роботи обладнання, зокрема вплив рухомих частин машини, підвищений рівень шуму, запиленість повітря та небезпеку ураження електричним струмом.

Для забезпечення безпечних умов праці запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, що включають дотримання правил безпеки під час експлуатації обладнання, використання захисних кожухів, засобів індивідуального захисту, а також забезпечення електро- та пожежної безпеки.

Запропоновані заходи дозволяють підвищити безпеку праці та забезпечити надійну експлуатацію подрібнювача в умовах агропромислового виробництва.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЄКТУ

Одним із важливих напрямків підвищення ефективності використання побічної продукції рослинництва є вдосконалення обладнання для її подрібнення. Подрібнення стеблової маси кукурудзи дозволяє значно підвищити ефективність використання біомаси під час виробництва біопалива, оскільки зменшення розмірів частинок покращує умови транспортування, сушіння та подальшої переробки.

У дипломному проєкті запропоновано удосконалену конструкцію подрібнювача стеблової маси кукурудзи. Основною метою модернізації є підвищення продуктивності машини, зменшення енергетичних витрат та покращення експлуатаційних характеристик обладнання.

Для оцінки ефективності розробленої конструкції проведено порівняння базового подрібнювача з удосконаленим.

Таблиця 5.1

Оцінка ефективності проєкту

Показники	Одиниці виміру	Базова машина	Нова машина	Відхилення
Продуктивність	т/год	1,8	2,4	+0,6
Потужність електродвигуна	кВт	7,5	5,5	–2,0
Маса машини	кг	520	480	–40
Строк служби	років	10	12	+2
Вартість машини	грн	50000	70000	+20000
Експлуатаційні витрати	грн/рік	15000	11000	–4000
Габаритні розміри				
довжина	мм	1800	1600	–200
ширина	мм	1000	900	–100
висота	мм	1500	1400	–100

З таблиці видно, що удосконалений подрібнювач має більшу продуктивність та меншу потужність приводу, що дозволяє знизити витрати електроенергії.

Експлуатаційні витрати визначаються за формулою:

$$Z = Z_z + Z_{ам} + Z_{ел} + Z_p + H_p$$

де

Z_z – витрати на заробітну плату;

$Z_{ам}$ – амортизаційні відрахування;

$Z_{ел}$ – витрати на електроенергію;

Z_p – витрати на ремонт і технічне обслуговування;

H_p – накладні витрати.

Витрати на заробітну плату:

$$Z_z = Z_{cp} \cdot z \cdot M + 0,52 (Z_{cp} \cdot z \cdot M)$$

де

$Z_{cp} = 9000$ грн -середня заробітна плата;

$z = 1$ -кількість працівників;

$M = 12$ -місяців роботи.

$$Z_z = 9000 \cdot 1 \cdot 12 + 0,52 (9000 \cdot 12)$$

$$Z_z = 108000 + 56160 = 164160 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування:

$$Z_{ам} = 0,01 \cdot H_{ам} \cdot B$$

де

$$H_{ам} = 15 \%$$

Базова машина:

$$З_{амб} = 0,01 \cdot 15 \cdot 50000 = 7500 \text{ грн}$$

Нова машина:

$$З_{амм} = 0,01 \cdot 15 \cdot 70000 = 10500 \text{ грн}$$

Потужність двигуна:

$$P = 5,5 \text{ кВт}$$

Річний фонд роботи:

$$t = 2000 \text{ год}$$

$$E = P \cdot t$$

$$E = 5,5 \cdot 2000 = 11000 \text{ кВт/год}$$

Ціна електроенергії:

$$Ц = 5 \text{ грн/кВт/год}$$

$$З_{ел} = 11000 \cdot 5 = 55000 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт:

$$З_p = 0,01 \cdot H_p \cdot B$$

де

$$H_p = 10 \%$$

Базова машина:

$$З_{рб} = 0,01 \cdot 10 \cdot 50000 = 5000 \text{ грн}$$

Нова машина:

$$З_{рм} = 0,01 \cdot 10 \cdot 70000 = 7000 \text{ грн}$$

Річна продуктивність подрібнювача:

$$n = 2,4 \cdot 2000$$

$$n = 4800 \text{ т/рік}$$

Ціна подрібненої біомаси:

$$Ц = 1500 \text{ грн/т}$$

Виручка:

$$B = Ц \cdot n$$

$$B = 1500 \cdot 4800$$

$$B = 7200000 \text{ грн}$$

Прибуток:

$$\Pi = B - З$$

Рентабельність:

$$R = \frac{\Pi}{З} \cdot 100$$

Річний економічний ефект:

$$E = \Pi_{\text{м}} - \Pi_{\text{б}}$$

де

$\Pi_{\text{м}}$ – прибуток від нової машини

$\Pi_{\text{б}}$ – прибуток від базової машини

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{E}$$

де

K – додаткові капіталовкладення.

$$K = 70000 - 50000 = 20000 \text{ грн}$$

$$E = \frac{20000}{80000}$$

$$T = 0,25 \text{ року}$$

У результаті техніко-економічного аналізу встановлено, що використання удосконаленого подрібнювача стеблової маси кукурудзи є економічно доцільним. Запропонована конструкція забезпечує підвищення продуктивності та зменшення енергетичних витрат у порівнянні з базовою машиною. Річний економічний ефект від використання удосконаленого подрібнювача становить близько 80 тис. грн, а термін окупності капіталовкладень складає приблизно 3 місяці.

Таблиця 5.2

Економічна ефективність проєкту

Показники	Базова машина	Удосконалений подрібнювач	Відхилення
Балансова вартість машини, грн	50000	70000	+20000
Продуктивність, т/год	1,8	2,4	+0,6
Потужність електродвигуна, кВт	7,5	5,5	-2,0
Річна продуктивність, т/рік	3600	4800	+1200
Експлуатаційні витрати, грн/рік	15000	11000	-4000
Собівартість подрібнення 1 т, грн	8,3	4,6	-3,7
Річна виручка від реалізації, грн	5400000	7200000	+1800000
Прибуток від реалізації, грн	1800000	2600000	+800000
Рівень рентабельності, %	7,5	12,5	+5
Річний економічний ефект, грн	—	80000	—
Термін окупності, років	—	0,25	—

З наведених у таблиці даних видно, що використання удосконаленого подрібнювача дозволяє підвищити продуктивність машини на 0,6 т/год та зменшити енергетичні витрати. Річний економічний ефект від впровадження

удосконаленої конструкції становить близько 80 тис. грн, а термін окупності капіталовкладень складає приблизно 0,25 року

Висновки

1. Впровадження удосконаленого подрібнювача стеблової маси кукурудзи є економічно доцільним для середнього фермерського господарства. Запропонована конструкція забезпечує підвищення продуктивності машини з 1,8 до 2,4 т/год, що дає можливість збільшити річний обсяг переробки біомаси та більш ефективно використовувати наявну побічну продукцію рослинництва.

2. Порівняно з базовою машиною удосконалений подрібнювач характеризується меншими енергетичними витратами, оскільки потужність електродвигуна знижена з 7,5 до 5,5 кВт. Це дозволяє скоротити витрати на електроенергію та зменшити собівартість подрібнення 1 т біомаси. При цьому річна продуктивність зростає, що позитивно впливає на загальні економічні показники використання машини.

3. Проведені розрахунки показали, що застосування удосконаленого подрібнювача забезпечує зниження експлуатаційних витрат, підвищення прибутку та збільшення рівня рентабельності виробництва. Річний економічний ефект від впровадження запропонованої конструкції становить близько 80 тис. грн, а термін окупності додаткових капіталовкладень складає приблизно 0,25 року, тобто близько трьох місяців.

ВИСНОВКИ

1. У дипломному проєкті розв'язано актуальне для агропромислового виробництва завдання, що полягає в удосконаленні подрібнювача стеблової маси кукурудзи для підготовки рослинної біомаси до подальшого використання у виробництві біопалива. Актуальність роботи зумовлена тим, що значна частина побічної продукції кукурудзи використовується недостатньо ефективно, хоча має високий енергетичний потенціал.

2. У результаті аналізу фермерського господарства встановлено, що за площі ріллі 2200 га кукурудза займає 800 га, тобто 36,4 % у структурі посівних площ. За середньої врожайності 7,2 т/га валовий збір зерна становить 5760 т на рік, а обсяг побічної продукції досягає близько 7200 т, з яких близько 2880 т може бути реально залучено до переробки.

3. Аналіз існуючих машин для подрібнення рослинних решток показав, що найбільш доцільною для стеблової маси кукурудзи є роторна ножова схема, яка забезпечує достатню продуктивність, рівномірне подрібнення та прийнятні енергетичні витрати. На цій основі запропоновано конструкцію удосконаленого подрібнювача з бункером, шнеком подачі, ротором з ножами, решіткою, приводом і вивантажувальним патрубком.

4. У конструкторсько-технологічному розділі обґрунтовано основні параметри машини. Для подрібнювача прийнято ротор діаметром 280 мм і довжиною 500 мм, на якому встановлено 8 ножів розміром 120×40×8 мм. Як механізм подачі запропоновано шнек діаметром 140 мм, довжиною 400 мм і кроком витка 80 мм, що забезпечує стабільну подачу біомаси до зони різання.

5. Розрахунками встановлено, що продуктивність удосконаленого подрібнювача становить близько 2,43 т/год. При частоті обертання ротора 1000 об/хв лінійна швидкість ножів дорівнює 14,7 м/с, що є достатнім для ефективного подрібнення стеблової маси кукурудзи, а прийнята конструкція ножів забезпечує необхідну міцність і зносостійкість.

6. Розрахунок потужності приводу показав, що для роботи машини достатньо електродвигуна потужністю 5,5 кВт, що дозволяє знизити

енергетичні витрати порівняно з базовою машиною. Обґрунтовано також вибір матеріалів для основних вузлів: ножі доцільно виготовляти зі сталі 65Г, вал ротора та вал шнека -зі сталі 45, а ротор, корпус і раму -зі сталі Ст3.

7. У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час експлуатації подрібнювача, серед яких рухомі та обертові елементи машини, підвищений рівень шуму, запиленість повітря і небезпека ураження електричним струмом. Запропоновано комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної роботи обладнання.

8. Економічний аналіз показав, що впровадження удосконаленого подрібнювача є доцільним для середнього фермерського господарства. Порівняно з базовою машиною продуктивність зростає з 1,8 до 2,4 т/год, а потужність електродвигуна зменшується з 7,5 до 5,5 кВт. Річний економічний ефект становить близько 80 тис. грн, а термін окупності додаткових капіталовкладень -приблизно 0,25 року, тобто близько трьох місяців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Будько М. О. Біоенергетика: курс лекцій. Частина 1 : навч. посіб. для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с.
2. Тормосов Р. Ю. (ред.). Біоенергетичні проекти: від ідеї до втілення : практ. посіб. Київ : ТОВ «Поліграф плюс», 2015. 208 с.
3. Антоненко В. О., Зубенко В. О., Олійник Є. М., Радченко С. В. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників державних та комунальних установ). Київ : ПРООН, 2017. 33 с.
4. Відновлювані джерела енергії : монографія / А. А. Барило, М. Бенменні, М. О. Будько [та ін.] ; за заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
5. Гелетуха Г., Драгнєв С., Желєзна Т., Карампінис М., Брюнер Т. Енергія з решток кукурудзи. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2022. 48 с.
6. Dragnev S. Opportunities for harvesting by-products of grain corn for energy production in Ukraine. Kyiv : Bioenergy Association of Ukraine, 2016. 48 p.
7. Гелетуха Г. Г., Драгнєв С. В., Желєзна Т. А., Баштовий А. І. Аналіз виробництва пелет та брикетів з побічної продукції кукурудзи на зерно : аналітична записка БАУ № 23. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2020. 42 с.
8. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А., Драгнєв С. В. Аналіз бар'єрів для виробництва енергії з агробіомаси в Україні : аналітична записка БАУ № 21. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2019. 41 с.
9. Ray A. E., Williams C. L., Hoover A. N. [et al.]. Multiscale Characterization of Lignocellulosic Biomass Variability and Its Implications to Preprocessing and Conversion: A Case Study for Corn Stover. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020. Vol. 8, No. 8. P. 3218–3230. DOI: 10.1021/acssuschemeng.9b06763.

10. Sun W., Shah A. A., Wang H. [et al.]. Pretreatment Strategies to Enhance Enzymatic Hydrolysis Performance and Lignocellulosic Ethanol Production from Corn Stover. *International Journal of Molecular Sciences*. 2022. Vol. 23, No. 21. Article 13163. DOI: 10.3390/ijms232113163.
11. Olugbemide A. D., Adesulu-Dahunsi A. T., Nwinyi O. C. [et al.]. Lignocellulosic Corn Stover Biomass Pre-Treatment by Deep Eutectic Solvents (DES) for Biomethane Production Process by Bioresource Anaerobic Digestion. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 19. Article 10504. DOI: 10.3390/su131910504.
12. Khan M. F. S., Akbar M., Xu Z., Wang H. A Review on the Role of Pretreatment Technologies in the Hydrolysis of Lignocellulosic Biomass of Corn Stover. *Biomass and Bioenergy*. 2021. Vol. 155. Article 106276. DOI: 10.1016/j.biombioe.2021.106276.
13. Łączny D., Macko M., Moraczewski K., Lewandowski J. Influence of Design Features of a Multi-Edge Shredder on the Operational Characteristics of the Process of Comminution Corn Stalks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1199. Article 012053. DOI: 10.1088/1757-899X/1199/1/012053.
14. Chevanan N., Womac A. R., Bitra V. S. P. [et al.]. Bulk Density and Compaction Behavior of Knife Mill Chopped Switchgrass, Wheat Straw, and Corn Stover. *Bioresource Technology*. 2010. Vol. 101, No. 1. P. 207–214. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.07.083.
15. Wilczyński D., Bembenek M., Hnat M. [et al.]. Experimental Study on the Cutting Process of Single Triticale Straw Stalks. *Materials*. 2023. Vol. 16, No. 11. Article 3943. DOI: 10.3390/ma16113943.
16. Гелету́ха Г. Г., Олі́йник Є. М., Анто́ненко В. О., Зу́бенко В. О., Ра́дченко С. В. Енергетичне використання агровідходів. Що варто знати про організаційні і технічні рішення : аналітична записка UABIO № 24. Київ : Біоенергетична асоціація України, 2020. 49 с.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ТРАКТОРІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

**Удосконалення подрібнювача стеблової маси кукурудзи для
виробництва біопалива**

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: групи АІ-1-22
Біленький Назар Янович

Керівник: к.т.н., доцентка
Золотовська Олена Володимирівна

Дніпро 2026

Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите в раздел «Параметры».



52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК 52ДП.105.008.000.СК	Показники	Базова машина	Удосконалений подрібнювач
	Балансова вартість машини, грн	50000	70000
	Продуктивність, т/год	1,8	2,4
	Потужність електродвигуна, кВт	7,5	5,5
	Річна продуктивність, т/рік	3600	4800
	Експлуатаційні витрати, грн/рік	15000	11000
	Собівартість подрібнення 1 т, грн	8,3	4,6
	Річна виручка від реалізації, тис.грн	5400	7200
	Прибуток від реалізації, тис. грн	1800	2600
	Рівень рентабельності, %	7,5	12,5
	Річний економічний ефект, грн	—	80000
	Термін окупності, років	—	0,25
	52ДП.105.008.000.СК Економічна ефективність Удосконалення Чтобы активировать функцию "Параметры" AI-1-22		