

**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:

**Підвищення енергоефективності теплогенерувального пристрою
для утилізації рослинних відходів**

Виконав: здобувач групи AI-4-22

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Краснощік Станіслав Сергійович_____

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

В.о. завідувача 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**

Краснощік Станіслав Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності
теплогенерувального пристрою для утилізації рослинних відходів.

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 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз фермерського господарства. Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних параметрів теплогенерувального пристрою.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз господарства та обґрунтування модернізації теплогенерувального пристрою. 2. Обґрунтування конструктивних схем термічної утилізації рослинної біомаси. 3

конструктивна модернізація пристрою для утилізації рослинних відходів. 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 господарства та обґрунтування модернізації теплогенерувального пристрою. (A1). 2. Основні способи та конструктивні схеми (A1). 3. Теплогенератор. Вид загальний. (A1) 4. Нижній бункер камери виділення піролізного газу (A4) Верхній бункер камери виділення піролізного газу. (A4). Модернізована частина пристрою (A3). Газопровод для повернення піролізного газу в топку. (A4). Завихрювач. (A4). Топка (A4). Тримач нижнього бункера камери виділення камери піролізного газу. 6. Обґрунтування ефективності (A1).

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	Аналіз господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз проблематики 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)

Краснощік С.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Золотовська О.В.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Анотація

Краснощік С.С. Підвищення енергоефективності теплогенерувального пристрою для утилізації рослинних відходів / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У роботі виконано розрахунок основних конструктивно-режимних параметрів модернізованого пристрою. Визначено необхідну теплову потужність установки, витрату рослинної біомаси, потребу в повітрі, орієнтовний вихід піролізного газу, а також обґрунтовано параметри газопроводу повернення піролізного газу. У результаті встановлено, що запропонована модернізація забезпечує зниження витрати біомаси, підвищення енергоефективності установки та покращення її експлуатаційних показників.

У розділі з охорони праці та захисту навколишнього середовища визначено основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, пов'язані з експлуатацією модернізованого пристрою, а також наведено заходи щодо забезпечення безпечних умов праці та зниження негативного впливу на довкілля. Техніко-економічна оцінка показала, що впровадження модернізованого пристрою є економічно доцільним, оскільки забезпечує суттєве скорочення річних витрат на теплозабезпечення та має короткий строк окупності.

Ключові слова: рослинні відходи, біомаса, піроліз, піролізний газ, теплогенерувальний пристрій, модернізація, енергоефективність, теплова енергія.

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ	7
1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОГЕНЕРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ	9
1.1 Загальна характеристика господарства	9
1.2 Організаційно-виробнича структура підприємства	10
1.3 Спеціалізація господарства та основні напрями виробничої діяльності	12
1.4 Структура посівних площ і наявність рослинних відходів	13
1.5 Характеристика матеріально-технічної бази господарства	16
1.6 Аналіз енергетичних потреб підприємства	17
1.7 Стан теплопостачання та особливості використання теплогенерувального обладнання	17
1.8 Обґрунтування необхідності модернізації теплогенерувального пристрою	18
Висновки	19
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СПОСОБІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ	20
2.1 Аналіз енергетичних властивостей біомаси	23
2.2 Основні способи та конструктивні схеми установок термічної утилізації рослинної біомаси	26
Висновки	34
3 КОНСТРУКТИВНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ	35
3.1 Обґрунтування конструкції та принципу дії модернізованого пристрою	35
3.2 Визначення основних параметрів пристрою	39
Висновки	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	50
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	50
4.2 Вимоги безпеки під час монтажу, обслуговування та експлуатації пристрою	51
4.3 Заходи пожежної безпеки при роботі з рослинними відходами та піролізним газом	52
4.4 Вимоги до вентиляції, контролю температури та газового середовища	53
4.5 Заходи захисту навколишнього середовища при експлуатації пристрою	54
Висновки	55
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ	56
Висновки	62
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва важливого значення набуває раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів, зниження витрат на теплопостачання та впровадження технічних рішень, спрямованих на використання місцевих видів палива. Для сільськогосподарських підприємств це питання є особливо актуальним, оскільки значна частина виробничих процесів пов'язана з потребою в тепловій енергії для сушіння продукції, обігріву виробничих і допоміжних приміщень, а також забезпечення роботи окремих технологічних установок.

У процесі діяльності аграрних підприємств утворюється значна кількість рослинних відходів, до яких належать солома, стебла кукурудзи, лушпиння соняшнику, післяжнивні рештки, відходи очищення та переробки рослинної сировини. У багатьох випадках така біомаса використовується не повною мірою, хоча має достатній енергетичний потенціал і може бути залучена до системи енергозабезпечення господарства. Використання рослинних відходів як палива дає можливість зменшити споживання традиційних енергоносіїв, знизити собівартість теплової енергії та підвищити загальну енергоефективність виробництва.

Перспективним напрямом вирішення цього завдання є застосування теплогенерувальних пристроїв, пристосованих до роботи на рослинній біомасі. Водночас ефективність таких установок значною мірою залежить від їх конструкції, способу підведення повітря, організації процесу горіння, повноти використання теплового потенціалу палива та величини теплових втрат. У зв'язку з цим важливим практичним завданням є вдосконалення теплогенерувального пристрою для підвищення ефективності його роботи та більш повного використання енергії, що міститься в рослинних відходах.

Актуальність теми полягає в необхідності обґрунтування технічних рішень щодо підвищення енергоефективності теплогенерувального пристрою для утилізації рослинних відходів в умовах аграрного підприємства, що дозволить зменшити витрати на теплопостачання та підвищити рівень використання місцевих енергетичних ресурсів.

Метою дипломного проєкту є обґрунтування конструктивних рішень щодо підвищення енергоефективності теплогенерувального пристрою для утилізації рослинних відходів.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішення таких завдань:

- виконати аналіз господарства, для якого передбачається модернізація теплогенерувального пристрою;
- визначити наявність рослинних відходів та можливість їх енергетичного використання;
- проаналізувати існуючі способи термічної утилізації рослинної біомаси;
- розглянути конструкції теплогенерувальних пристроїв, що застосовуються для роботи на біопаливі;
- виконати аналіз базової конструкції теплогенерувального пристрою;
- обґрунтувати конструктивні зміни, спрямовані на підвищення його енергоефективності;
- визначити основні конструктивно-режимні параметри модернізованого пристрою;
- надати оцінку умов безпечної експлуатації обладнання;
- виконати техніко-економічну оцінку запропонованої модернізації.

Запропоноване удосконалення теплогенерувального пристрою може бути використане в аграрних підприємствах для більш ефективного використання рослинних відходів як палива, зменшення енергетичних витрат та підвищення ефективності теплопостачання.

1 АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕПЛОГЕНЕРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

1.1 Загальна характеристика господарства

Об'єктом, для якого розглядається модернізація теплогенерувального пристрою, є аграрне підприємство, діяльність якого пов'язана з виробництвом продукції рослинництва, її первинною доробкою, зберіганням та забезпеченням виробничих потреб у тепловій енергії. Господарство функціонує в умовах інтенсивного сільськогосподарського виробництва та має у своєму розпорядженні земельні, технічні й виробничі ресурси, необхідні для виконання основних технологічних операцій.

Оснoву виробничої діяльності підприємства становить вирощування зернових і технічних культур, що формує стабільну сировинну базу та одночасно зумовлює утворення значної кількості рослинних залишків. До таких відходів належать солома зернових культур, стеблова маса кукурудзи, подрібнені післяжнивні рештки соняшнику, відходи очищення зерна, полова, а також інші органічні залишки, які можуть бути використані як енергетична сировина.

Виробнича діяльність господарства пов'язана з сезонними піковими навантаженнями, особливо в період збирання, доробки та зберігання врожаю. Саме в цей час підвищується потреба в тепловій енергії для сушіння продукції, обігріву виробничих приміщень, майстерень, складів та інших об'єктів інфраструктури. За умов зростання вартості традиційних видів палива питання використання власних місцевих енергоресурсів набуває для підприємства практичного значення.

Господарство має типовий для аграрних підприємств склад виробничих підрозділів: польову виробничу ланку, машинно-тракторний парк, зерноскладське господарство, ремонтну базу, допоміжні приміщення та об'єкти енергозабезпечення. Наявність побічної продукції рослинництва, яка раніше використовувалася частково або не використовувалася зовсім, створює передумови для її залучення в енергетичний баланс підприємства.

Отже, загальна характеристика господарства свідчить про те, що воно має як потребу в тепловій енергії, так і власну сировинну базу у вигляді рослинних відходів. Це створює реальні умови для впровадження або модернізації теплогенерувального обладнання, здатного працювати на біомасі.

1.2 Організаційно-виробнича структура підприємства

Організаційно-виробнича структура господарства формується з урахуванням спеціалізації підприємства, обсягів виробництва, наявної технічної бази та особливостей технологічних процесів. Управління діяльністю підприємства здійснюється керівником господарства та виробничо-технічними службами, до яких, як правило, належать агрономічна, інженерна, енергетична та господарська ланки.

До основних виробничих підрозділів господарства належать: польові підрозділи, що забезпечують виконання комплексу робіт із вирощування сільськогосподарських культур; машинно-тракторний парк, який виконує енергетичне і транспортне забезпечення технологічних процесів; ділянки первинної доробки та зберігання продукції; ремонтно-обслуговуюча база; складське господарство; допоміжні й енергетичні об'єкти. Така структура є характерною для більшості сучасних аграрних підприємств і дозволяє забезпечувати повний цикл робіт від підготовки ґрунту та сівби до збирання врожаю, його доробки та зберігання. Водночас

ефективність функціонування окремих підрозділів значною мірою залежить від безперебійного забезпечення енергією, зокрема тепловою.

Особливе місце в організаційно-виробничій структурі (рис.1.1.) займають об'єкти, де теплота використовується безпосередньо або опосередковано. До них належать сушильні відділення, зерноочисні комплекси, виробничі майстерні, складські приміщення, а також окремі технологічні дільниці, де необхідно підтримувати певний температурний режим. У разі недостатньої ефективності теплопостачання погіршується ритмічність роботи підприємства, збільшуються експлуатаційні витрати та виникають додаткові втрати продукції.

Схема організаційно-виробничої структури та теплових потреб господарства

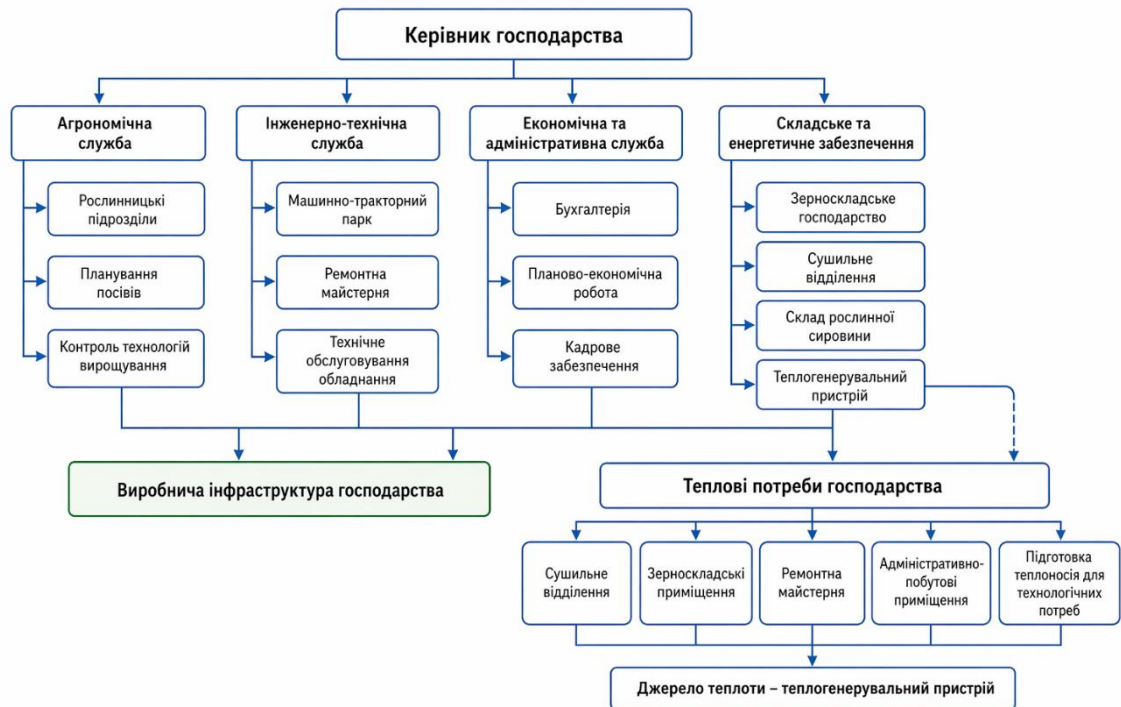


Рисунок 1.1 – Схема організаційно-виробничої структури та теплових потреб господарства

У межах наявної структури підприємства утворення рослинних відходів відбувається як безпосередньо на полях після збирання врожаю, так і на стадії очищення, сортування, доробки й транспортування продукції. Частина таких залишків повертається в ґрунт, частина розглядатися як доступний ресурс для теплогенерувального обладнання.

Таким чином, організаційно-виробнича структура господарства створює передумови для інтеграції енергоощадного обладнання в існуючу систему виробництва. Модернізація теплогенерувального пристрою в такому разі розглядається не як ізольоване технічне рішення, а як елемент загального підвищення ефективності функціонування підприємства.

1.3 Спеціалізація господарства та основні напрями виробничої діяльності

Спеціалізація господарства визначається переважанням у структурі виробництва продукції рослинництва. Основними культурами, що вирощуються на підприємстві, є зернові та технічні культури, які мають важливе економічне значення та формують основну частину товарної продукції. Залежно від природно-кліматичних умов, структури посівних площ і ринкової кон'юнктури до них можуть належати озима пшениця, ячмінь, кукурудза на зерно, соняшник, ріпак та інші культури.

Така виробнича спрямованість господарства супроводжується утворенням значних обсягів побічної продукції. Наприклад, під час вирощування зернових культур утворюється солома та полова, при збиранні кукурудзи -стебла, листостеблова маса та подрібнені рослинні рештки, а при вирощуванні соняшнику -стеблова маса, кошики та інші залишки. За наявності первинної переробки або очищення продукції можуть додатково утворюватися домішки, пил, відходи сепарації та органічні фракції, придатні для енергетичного використання.

Основними напрямками виробничої діяльності господарства є вирощування товарної продукції, її збирання, транспортування, доробка та зберігання. Кожен із цих етапів має певне енергетичне навантаження. Особливо відчутними є витрати під час післязбиральної обробки, коли

необхідно знизити вологість зерна, забезпечити належні умови зберігання та підтримувати роботу технічних засобів у холодний період року.

Через це господарство потребує надійного й економічно виправданого джерела теплоти. Використання для цих потреб рослинних відходів є логічним рішенням, оскільки воно базується на власних ресурсах підприємства. За правильно організованого процесу спалювання або термічної утилізації така біомаса може частково замінювати дорогі традиційні енергоносії.

Отже, спеціалізація господарства безпосередньо пов'язана з темою дипломного проекту, оскільки саме структура виробництва формує і потребу в теплоті, і наявність сировини для її отримання.

1.4 Структура посівних площ і наявність рослинних відходів

Структура посівних площ господарства визначає не лише обсяг валової продукції, а й потенційну кількість рослинних залишків, які можуть бути використані в енергетичних цілях. У господарствах рослинницького напрямку найбільший інтерес з позиції енергозабезпечення становлять зернові колосові культури, кукурудза та соняшник, оскільки вони формують значну кількість сухої органічної маси.

Після збирання врожаю на підприємстві утворюються різні види побічної продукції, частина якої може бути залучена в господарський обіг як паливо. Найбільш доступною є солома зернових культур, яка за умови відповідної підготовки придатна для спалювання або переробки. Значним енергетичним потенціалом характеризуються також стебла і листостеблова маса кукурудзи, а також сухі залишки соняшнику. Крім польових решток, джерелом біомаси є відходи очищення зерна та інші органічні фракції, що накопичуються в період доробки врожаю.

Перевагою використання такої сировини є її місцеве походження, відсутність потреби у складній логістиці та можливість часткового заміщення покупного палива. Разом з тим слід враховувати, що рослинні відходи відрізняються за вологістю, щільністю, зольністю, насипною масою та теплотворною здатністю. Саме тому при організації їх енергетичного використання важливо забезпечити належну підготовку, зберігання і подачу в теплогенерувальний пристрій.

Таблиця 1.1

Структура посівних площ господарства

Культура	Площа, га	Частка у структурі посівів, %	Основна продукція	Вид побічної продукції
Озима пшениця	900	36,0	зерно	солома, полова
Ярий ячмінь	300	12,0	зерно	солома, полова
Кукурудза на зерно	650	26,0	зерно	стебла, листя, обгортки качанів
Соняшник	500	20,0	насіння	стебла, кошики, лузга після дробки
Ріпак	150	6,0	насіння	соломиста маса, стебла
Разом	2500	100,0	—	—

Для конкретного господарства наявність рослинних відходів є одним із головних аргументів на користь модернізації теплогенерувального обладнання. Якщо підприємство вже має теплову установку, але вона недостатньо ефективно використовує біомасу, то модернізація дозволяє підвищити ступінь перетворення енергії рослинної сировини в корисну теплоту.

Отже, структура посівних площ і характер утворення побічної продукції підтверджують доцільність використання рослинних відходів як місцевого енергетичного ресурсу.

Таблиця 1.2

Обсяг утворення рослинних відходів у господарстві

Культура	Площа, га	Середній вихід побічної продукції, т/га	Загальний обсяг побічної продукції, т	Частка, що може бути використана на енергетичні потреби, %	Потенційний обсяг для енергетичного використання, т
Озима пшениця	900	3,2	2880	45	1296
Ярий ячмінь	300	2,7	810	45	365
Кукурудза на зерно	650	4,5	2925	35	1024
Соняшник	500	3,0	1500	30	450
Ріпак	150	2,1	315	35	110
Разом	2500	—	8430	—	3245

За даними таблиці 1.2 загальний теоретичний обсяг побічної продукції становить 8430 т на рік. При цьому з урахуванням агротехнічних вимог, технологічних втрат та доцільності вилучення біомаси орієнтовний потенціал для енергетичного використання може становити близько 3245 т на рік. Це свідчить про наявність у господарстві достатньої сировинної бази для використання рослинних відходів як місцевого палива.

Найбільш придатними для подальшого використання в теплогенерувальному пристрої є солома зернових культур, сухі залишки кукурудзи та соняшнику, а також відходи після доробки продукції. Важливою перевагою є те, що така сировина утворюється безпосередньо в

господарстві, тобто не потребує складної зовнішньої логістики й може використовуватися як власний енергетичний ресурс.

1.5 Характеристика матеріально-технічної бази господарства

Матеріально-технічна база господарства включає земельні ресурси, машинно-тракторний парк, транспортні засоби, обладнання для доробки та зберігання продукції, ремонтну базу, складські приміщення та енергетичне обладнання. Від рівня її розвитку залежить здатність підприємства своєчасно та якісно виконувати основні технологічні операції.

У господарстві, як правило, наявні трактори різних тягових класів, ґрунтообробна й посівна техніка, обприскувачі, розкидачі добрив, зернозбиральні комбайни, транспортні засоби та обладнання для післязбиральної доробки врожаю. Допоміжну роль відіграють ремонтні майстерні, навіси, склади запасних частин та пально-мастильних матеріалів.

Важливе значення для теми дипломного проєкту має наявність обладнання, пов'язаного з виробленням або використанням теплової енергії. Це можуть бути сушарки, теплогенератори, котельні вузли, системи вентиляції, теплоповітропроводи та інші елементи теплотехнічної інфраструктури. Якщо таке обладнання морально застаріле, має значні теплові втрати або працює на дорогому паливі, це знижує загальну ефективність господарства та створює передумови для його технічного вдосконалення.

Матеріально-технічна база підприємства дозволяє не лише експлуатувати теплогенерувальний пристрій, а й організувати збирання, транспортування, складування та часткову підготовку рослинної біомаси. Це важливо, оскільки енергоефективність системи залежить не тільки від самого теплогенератора, а й від узгодженості всіх допоміжних операцій.

Таким чином, рівень розвитку матеріально-технічної бази господарства дає можливість реалізувати модернізацію теплогенерувального пристрою без кардинальної перебудови всієї виробничої системи.

1.6 Аналіз енергетичних потреб підприємства

Енергетичні потреби господарства мають комплексний характер і охоплюють витрати електричної та теплової енергії. У межах дипломного проєкту основна увага приділяється саме тепловим потребам, оскільки вони безпосередньо пов'язані з експлуатацією теплогенерувального пристрою.

Найбільша потреба в теплоті виникає у період післязбиральної обробки врожаю, коли необхідно здійснювати сушіння зернової продукції або підігрівати повітря для технологічних процесів. Крім того, тепла енергія потрібна для обігріву майстерень, складських приміщень, виробничих зон та інших об'єктів господарства, особливо в осінньо-зимовий період.

За використання традиційних видів палива витрати на теплопостачання істотно зростають, що негативно впливає на собівартість продукції. Разом із цим у самому господарстві накопичуються рослинні відходи, які мають паливну цінність, але використовуються неповною мірою. Такий стан свідчить про наявність внутрішнього резерву для зниження енергетичних витрат.

Розв'язання цього завдання можливе за рахунок підвищення ефективності теплогенерувального обладнання, здатного працювати на місцевій біомасі. У такому разі зменшується залежність підприємства від сторонніх постачальників енергоносіїв, підвищується стабільність енергозабезпечення та створюються умови для економії коштів.

1.7 Стан теплопостачання та особливості використання теплогенерувального обладнання

На більшості аграрних підприємств система теплопостачання формується поступово й часто поєднує обладнання різних поколінь та різного технічного рівня. Через це в роботі теплогенерувальних пристроїв можуть спостерігатися підвищені втрати теплоти, нерівномірність тепловіддачі, неповне згоряння палива, нестійкість режимів роботи та перевитрата сировини.

Якщо на підприємстві вже використовується установка для спалювання рослинних відходів, її ефективність значною мірою залежить від конструкції топкової частини, способу підведення повітря, повноти використання летких компонентів та організації відведення тепла. У разі недостатньо досконалої конструкції частина теплового потенціалу біомаси втрачається, а питомі витрати палива залишаються завищеними.

Крім того, для рослинних відходів характерна неоднорідність фракційного складу та вологості, що ускладнює стабільну роботу обладнання. Саме тому модернізація теплогенерувального пристрою повинна бути спрямована на покращення умов горіння, більш ефективне використання продуктів термічного розкладання та зменшення непродуктивних втрат теплоти.

Отже, існуючий стан теплопостачання в господарстві обґрунтовує потребу в технічному вдосконаленні теплогенерувального пристрою.

1.8 Обґрунтування необхідності модернізації теплогенерувального пристрою

Необхідність модернізації теплогенерувального пристрою зумовлена сукупністю виробничих, енергетичних та економічних чинників. По-перше, господарство має стабільну потребу в тепловій енергії для технологічних і допоміжних потреб. По-друге, у процесі його діяльності утворюється

достатня кількість рослинних відходів, які можуть бути використані як паливо. По-третє, наявне теплогенерувальне обладнання або його базова конструкція не забезпечують максимально повного використання енергетичного потенціалу цієї сировини.

Модернізація пристрою дозволяє покращити процес термічного перетворення рослинних відходів, зменшити теплові втрати, підвищити повноту використання горючих компонентів та забезпечити більш стабільний тепловий режим. Внаслідок цього очікується зниження питомих витрат палива, підвищення продуктивності та покращення експлуатаційних показників установки.

Для аграрного підприємства така модернізація є доцільною також з позиції ресурсозбереження. Використання місцевої біомаси зменшує залежність від придбання традиційного палива та підвищує рівень енергетичної самозабезпеченості. Крім цього, утилізація рослинних відходів у теплогенерувальному пристрої дозволяє раціональніше використовувати побічну продукцію рослинництва та скорочувати витрати, пов'язані з її видаленням або накопиченням.

Таким чином, модернізація теплогенерувального пристрою є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для конкретного господарства.

Висновки

Визначено, що в процесі діяльності підприємства утворюється значна кількість рослинних відходів, які можуть бути використані як місцевий енергетичний ресурс. Це створює передумови для їх залучення в систему теплопостачання господарства.

Проаналізовано, що наявна організаційно-виробнича структура та матеріально-технічна база підприємства дозволяють реалізувати технічне вдосконалення теплогенерувального обладнання без суттєвого ускладнення виробничого процесу.

Встановлено, що існуючий стан теплопостачання потребує підвищення ефективності використання палива, зниження теплових втрат і покращення експлуатаційних показників обладнання.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СПОСОБІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

Аграрне виробництво є однією з галузей, у якій поряд з основною продукцією щороку утворюється значна кількість побічної рослинної маси. До неї належать солома зернових культур, стебла кукурудзи, соняшникові кошики, лушпиння, полова, післяжнивні рештки, а також відходи очищення, сортування та первинної переробки сільськогосподарської сировини. У традиційній практиці частина таких залишків використовується на господарські потреби або залишається на полі, однак помітна їх кількість може розглядатися як доступний місцевий енергетичний ресурс.

Для сільськогосподарського підприємства рослинні відходи мають подвійну цінність. З одного боку, вони є побічним продуктом основної діяльності, а з іншого -можуть слугувати паливною сировиною для виробництва теплової енергії. Це особливо важливо в умовах постійного зростання вартості традиційних енергоносіїв, коли підвищення рівня енергетичної самозабезпеченості господарства стає одним із ключових напрямів зниження виробничих витрат.

На відміну від викопних видів палива, рослинні відходи утворюються безпосередньо в місці ведення господарської діяльності. Саме тому їх використання не потребує складної зовнішньої логістики, а витрати на доставку сировини можуть бути істотно меншими. Для багатьох аграрних підприємств це створює реальні передумови для організації локальних

енергетичних систем, у яких джерелом теплоти виступають власні побічні продукти рослинництва.

Енергетичне використання рослинних відходів є доцільним насамперед у тих випадках, коли підприємство має стабільну потребу в тепловій енергії. У сільському господарстві теплота використовується для сушіння зерна та насіння, обігріву виробничих і складських приміщень, ремонтних майстерень, теплиць, побутових об'єктів, а також для підготовки теплоносія в окремих технологічних процесах. Якщо джерелом такої теплоти стає біомаса власного походження, то підприємство отримує змогу частково замінити придбане паливо та знизити залежність від зовнішніх постачальників енергоресурсів.

Важливою перевагою рослинних відходів як палива є їх відновлюваний характер. На відміну від обмежених традиційних ресурсів, біомаса поновлюється в результаті щорічного виробничого циклу. За умови правильного планування посівних площ і раціонального вилучення побічної продукції підприємство може систематично формувати паливну базу для власних енергетичних потреб. Це особливо актуально для господарств рослинницького напрямку, де обсяги такої сировини є достатньо значними.

Разом з тим рослинні відходи як енергетична сировина мають низку особливостей, які необхідно враховувати при їх використанні. Насамперед вони характеризуються неоднорідністю за вологістю, щільністю, гранулометричним складом, зольністю та теплотворною здатністю. Наприклад, солома зернових культур, стебла кукурудзи і лушпиння соняшнику суттєво відрізняються між собою за фізичними властивостями, умовами зберігання та поведінкою під час термічної переробки. Саме тому ефективність їх енергетичного використання значною мірою залежить від підготовки сировини, конструкції теплогенерувального пристрою та організації процесу спалювання або термічного розкладання.

До найбільш поширених видів рослинних відходів, що можуть використовуватися в енергетичних цілях, належать солома пшениці, ячменю, жита та інших зернових культур, кукурудзяні стебла і листостеблова маса, стебла та кошики соняшнику, лушпиння насіння соняшнику, а також побічна продукція ріпаку, сої та інших культур. Окрему групу становлять відходи після доробки рослинної сировини: пил, полови, дрібні домішки органічного походження. Усі ці матеріали мають енергетичну цінність і можуть бути використані для отримання теплоти після відповідної підготовки.



Рисунок 2.1 – Енергетичне використання сировини

Практична цінність рослинних відходів як джерела енергії полягає ще й у тому, що їх використання сприяє більш повному залученню ресурсного потенціалу господарства. У такому випадку побічна продукція не розглядається лише як залишок виробництва, а стає корисною складовою технологічної системи підприємства. Це дозволяє поєднати вирішення двох завдань: з одного боку, зменшити накопичення відходів, а з іншого - забезпечити господарство додатковим джерелом теплової енергії.

Не менш важливим є й екологічний аспект. Рациональне використання рослинних відходів у теплогенерувальних установках дає можливість зменшити обсяги їх неконтрольного спалювання або накопичення, що позитивно впливає на санітарний стан території підприємства та навколишнє середовище. Водночас для досягнення позитивного ефекту

необхідно забезпечити технічно правильну організацію процесу, оскільки низька якість спалювання може призвести до підвищеного утворення диму, сажі та незгорілих часток.

Для аграрних підприємств найбільший інтерес становлять такі способи використання рослинних відходів, які не потребують надмірно складного обладнання та можуть бути впроваджені в умовах господарства. У цьому відношенні теплогенерувальні пристрої, що працюють на подрібненій або підготовленій біомасі, є одним із найбільш доступних технічних рішень. Особливо перспективним є вдосконалення конструкцій, у яких забезпечується краще використання енергетичного потенціалу сировини за рахунок більш повного згоряння або термічного розкладання органічної маси з подальшим використанням утворених газоподібних продуктів.

2.1 Аналіз енергетичних властивостей біомаси

Енергетична цінність рослинної біомаси визначається сукупністю її фізичних, хімічних і теплотехнічних властивостей, які безпосередньо впливають на ефективність використання сировини в теплотехнічних установках. Для обґрунтування доцільності використання рослинних відходів як палива необхідно враховувати їх вологість, зольність, теплоту згоряння, вміст летких речовин, щільність, фракційний склад та особливості перебігу термічного розкладання.

Однією з найважливіших характеристик біомаси є вологість. Вона істотно впливає на теплотворну здатність палива, температуру в зоні горіння, стійкість процесу спалювання та загальний коефіцієнт корисної дії установки. Чим вища вологість сировини, тим більше теплоти витрачається на випаровування води, унаслідок чого знижується температура процесу та погіршуються умови термічного розкладання. Для більшості видів рослинної біомаси бажано використовувати сировину з помірною або зниженою вологістю, оскільки надмірно вологі відходи ускладнюють

підпалювання, зменшують повноту згоряння та підвищують питомі витрати палива.

Не менш важливим показником є зольність. Вона характеризує вміст мінеральних домішок, які не беруть участі у виділенні теплоти, але залишаються після згоряння у вигляді золи та шлакових утворень. Підвищена зольність зменшує ефективну теплотворну здатність біомаси, погіршує тепловий режим установки та ускладнює експлуатацію колосникових решіток, зольників і газоходів. Особливо це важливо для рослинних відходів аграрного походження, оскільки вони часто містять домішки ґрунту, пилу та мінеральних частинок, що збільшують обсяг твердого залишку.

Визначальним енергетичним показником є нижча теплота згоряння. Саме вона характеризує кількість теплоти, яку реально можна отримати під час використання біомаси в теплотехнічній установці. Для різних видів рослинних відходів цей показник змінюється залежно від вологості, вмісту органічної маси, ступеня підготовки та умов зберігання. У цілому суха рослинна біомаса має достатній енергетичний потенціал для її практичного використання як місцевого палива, особливо в тих випадках, коли господарство володіє власною сировинною базою.

Суттєве значення має також вміст летких речовин. Для більшості видів рослинної біомаси цей показник є досить високим, що зумовлює інтенсивне виділення газоподібних продуктів під час нагрівання. Саме тому при термічній утилізації біомаси важливо забезпечити не тільки спалювання твердого залишку, а й повноцінне використання летких горючих компонентів. За недостатнього надходження повітря або недосконалої конструкції топкової частини частина цих компонентів може не згоряти повністю, що призводить до втрат енергії. У зв'язку з цим для підвищення енергоефективності доцільно застосовувати конструктивні рішення, які покращують умови допалювання газоподібних продуктів.

Окремо слід враховувати щільність і насипну масу біомаси. Ці показники впливають на зручність транспортування, зберігання, подачі палива в установку та рівномірність процесу горіння. Розсипчасті та легкі рослинні відходи займають значний об'єм, тому без попереднього ущільнення або підготовки їх використання може бути менш зручним. Водночас для теплогенераторів, що працюють на подрібненій біомасі, важливо забезпечити такий фракційний склад палива, який дозволяє підтримувати стійкий тепловий режим без зависання сировини та без надмірного опору руху газів.

Важливою властивістю є також температура початку термічного розкладання та характер проходження окремих стадій нагрівання біомаси. Під час підвищення температури спочатку відбувається випаровування вологи, далі - виділення летких речовин і термічний розклад органічної маси, а потім - горіння або окиснення твердого вуглецевого залишку. Ці особливості мають принципове значення при обґрунтуванні конструкції теплотехнічної установки, оскільки саме від них залежать розташування зон підсушування, піролізу, горіння та допалювання газів.

Для порівняльної оцінки найбільш поширених видів рослинної біомаси доцільно навести їх основні енергетичні показники.

Таблиця 2.1

Енергетичні властивості окремих видів рослинної біомаси

Вид біомаси	Вологість, %	Зольність, %	Нижча теплота згорання, МДж/кг	Характеристика енергетичного використання
Солома зернових культур	12–18	4–8	13–15	Доступне паливо, потребує стабільної подачі повітря
Стебла кукурудзи	15–25	5–9	12–14	Має достатню теплотворну

				здатність, потребує подрібнення
Соняшникові рештки	10–18	5–8	13–16	Добре придатні для термічної утилізації
Лушпиння соняшнику	8–12	2–5	15–17	Один із найбільш енергоцінних видів рослинної біомаси
Полова та відходи очищення зерна	10–20	6–12	11–14	Придатні до використання після підготовки та дозованої подачі

З практичної точки зору для енергетичного використання найбільш цінною є біомаса, що характеризується невисокою вологістю, помірною зольністю та достатньо високою теплотою згоряння. Водночас навіть види сировини з нижчими показниками можуть бути ефективно використані за умови правильної організації процесу спалювання або піролізу, а також за рахунок удосконалення конструкції теплотехнічної установки. Саме тому при модернізації теплогенератора важливо враховувати властивості конкретного виду біомаси, що буде використовуватися в господарстві.

2.2 Основні способи та конструктивні схеми установок термічної утилізації рослинної біомаси

Рослинна біомаса є доступним місцевим енергетичним ресурсом, який може використовуватися в аграрному виробництві для одержання теплової енергії. До найбільш поширених способів її термічної утилізації належать пряме спалювання, газифікація та піроліз. Кожен із цих способів має свої особливості, різний рівень технічної складності та неоднакову ефективність використання енергетичного потенціалу сировини. Для узагальнення основних напрямів енергетичного використання рослинної біомаси

доцільно розглянути порівняльну схему способів її термічної утилізації, наведену на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Порівняльна схема способів термічної утилізації рослинної біомаси

Як видно з рисунка 2.1, найбільш простим способом є пряме спалювання. У цьому випадку рослинні відходи використовуються як тверде паливо, яке безпосередньо згорає в топці або теплотехнічній установці з утворенням теплоти. Такий спосіб має перевагу у відносній простоті реалізації, невисокій складності обладнання та можливості використання різних видів біомаси після попередньої підготовки. Саме тому пряме спалювання є найбільш поширеним у невеликих і середніх аграрних господарствах. Принципова схема прямого спалювання біомаси наведена на рисунку 2.2.

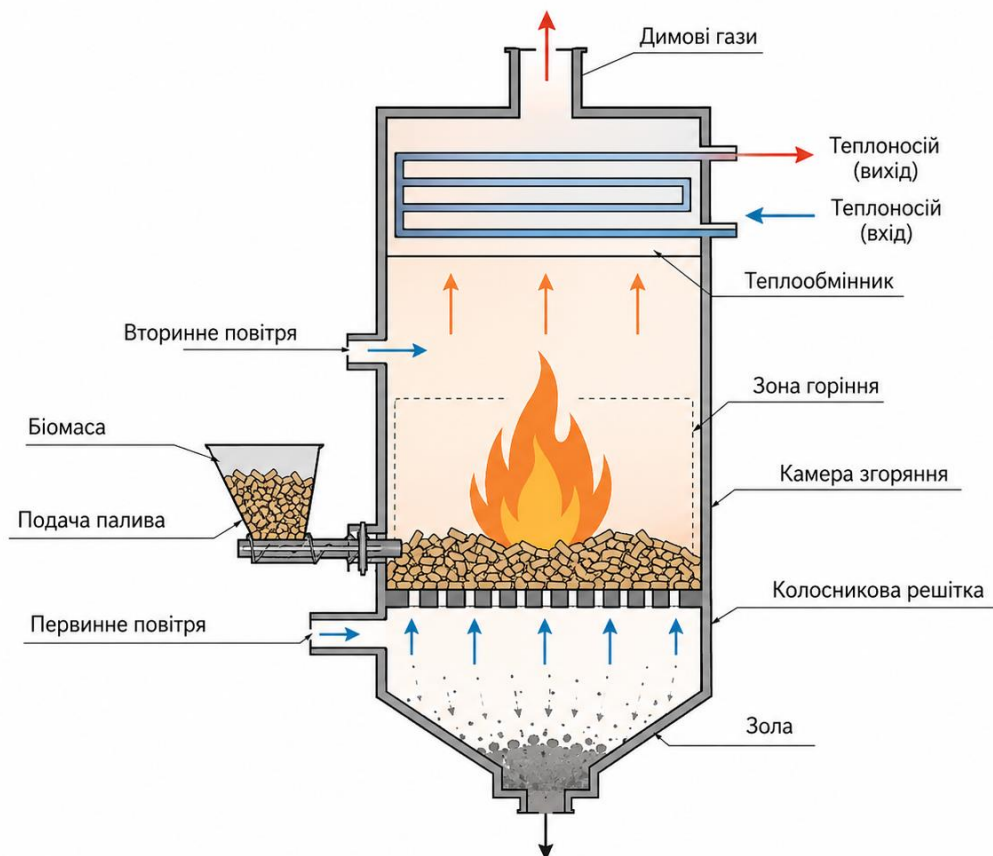


Рисунок 2.2 – Схема прямого спалювання рослинної біомаси

На рисунку 2.2 показано, що рослинні відходи подаються в зону горіння, де за участю повітря відбувається їх окиснення з виділенням теплоти. Утворені продукти згоряння передають теплоту теплоносію або повітря, після чого відводяться в димохід. Недоліком такого способу є те, що при недосконалій конструкції топки або недостатньо раціональній подачі повітря частина летких горючих компонентів може використовуватися не повністю, що знижує загальну енергоефективність установки.

Більш складним способом є газифікація біомаси, при якій термічне перетворення сировини відбувається за обмеженої подачі окиснювача. Унаслідок цього з твердого палива утворюється генераторний газ, який може надалі спалюватися в окремій камері або використовуватися в інших енергетичних установках. Принципова схема газифікації наведена на рисунку 2.3.

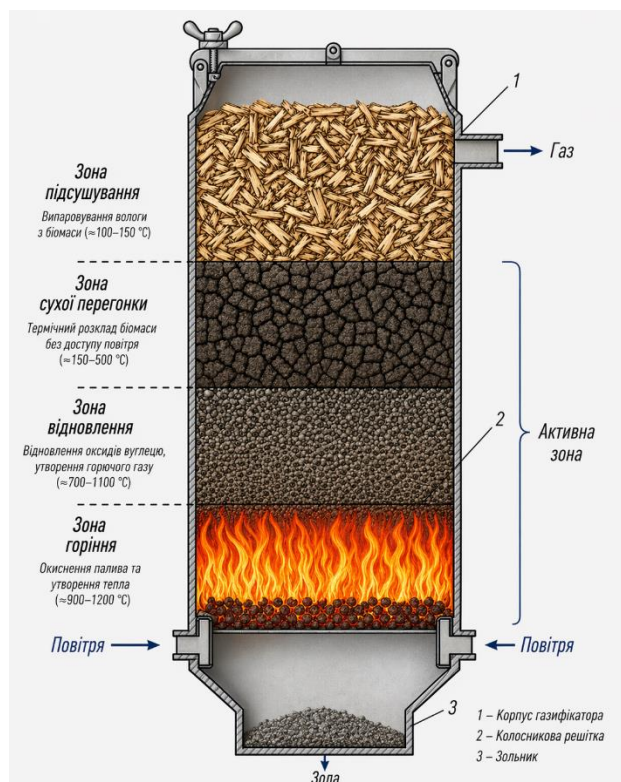


Рисунок 2.3 – Схема газифікації рослинної біомаси

Відповідно до рисунка 2.3, біомаса надходить у газифікатор, де під дією температури та обмеженої кількості повітря проходить послідовні стадії підсушування, термічного розкладання, часткового окиснення та відновлення. У результаті утворюється горючий газ, що містить оксид вуглецю, водень, метан та інші компоненти. Перевагою газифікації є можливість отримання паливного газу, однак така технологія потребує складнішого обладнання, стабільнішого режиму роботи та якіснішої підготовки сировини.

Найбільший інтерес для даного дипломного проєкту становить піроліз біомаси з допалюванням піролізного газу. Суть цього способу полягає в тому, що рослинні відходи спочатку нагріваються за обмеженого доступу повітря, унаслідок чого відбувається їх термічний розклад із виділенням піролізного газу, а потім цей газ спалюється в окремій зоні допалювання. Принципова схема такого процесу наведена на рисунку 2.4.

Схема піролізу з допалюванням піролізного газу

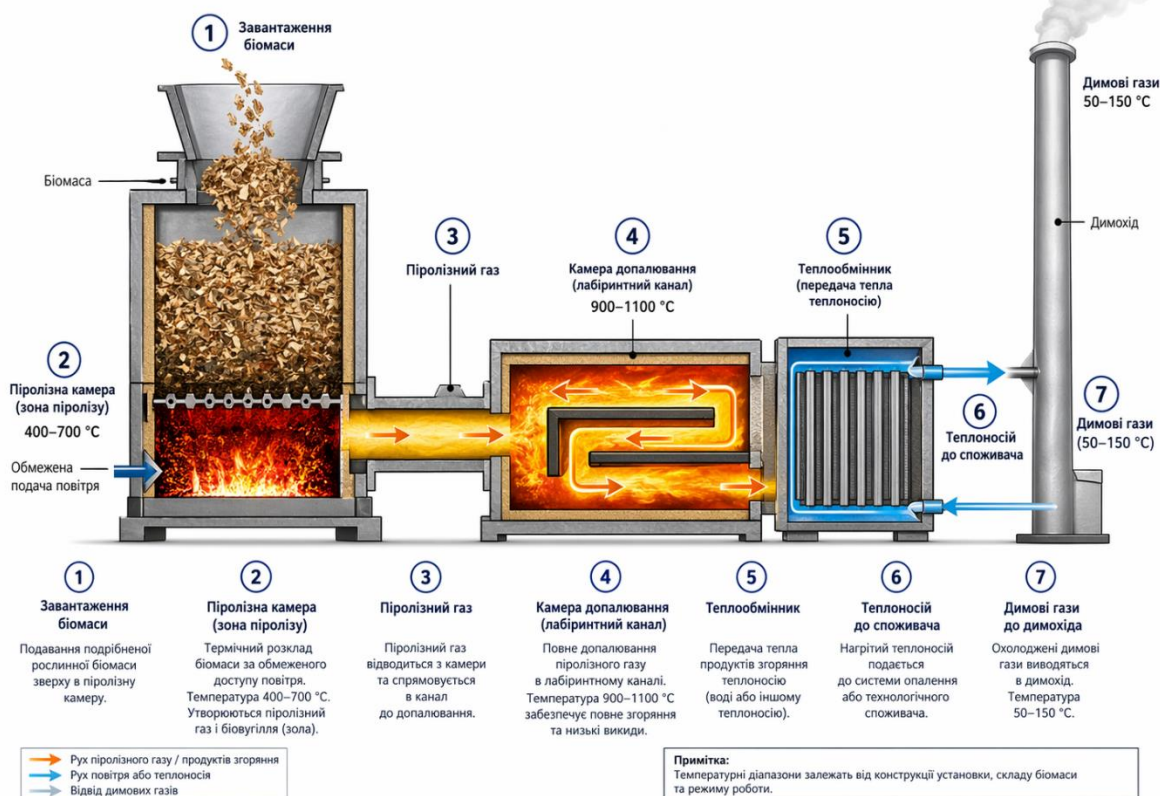


Рисунок 2.4 – Схема піролізу рослинної біомаси з допалюванням піролізного газу

Як показано на рисунку 2.4, у піролізній камері біомаса проходить стадії підсушування та термічного розкладання, у результаті чого утворюються газоподібні продукти та твердий вуглецевий залишок. Піролізний газ надходить у камеру допалювання, де за участю вторинного повітря відбувається його повніше згоряння. Завдяки цьому підвищується температура процесу, покращується використання енергетичного потенціалу сировини та зменшуються втрати теплоти. Саме така схема є найбільш близькою до технічного рішення, яке закладається в основу модернізації в даному дипломному проєкті.

Ефективність енергетичного використання рослинних відходів залежить не лише від властивостей сировини та обраного способу її термічної утилізації, а й від конструкції установки. Саме конструктивне виконання визначає характер руху повітря, розташування зон горіння чи

термічного розкладання, повноту використання летких горючих компонентів, теплові втрати та експлуатаційні показники обладнання.

Одним із найбільш поширених напрямів розвитку твердопаливних установок є вдосконалення організації процесу горіння. Для цього доцільно порівняти конструктивні схеми котлів верхнього та нижнього горіння, наведених на рисунку 2.5.

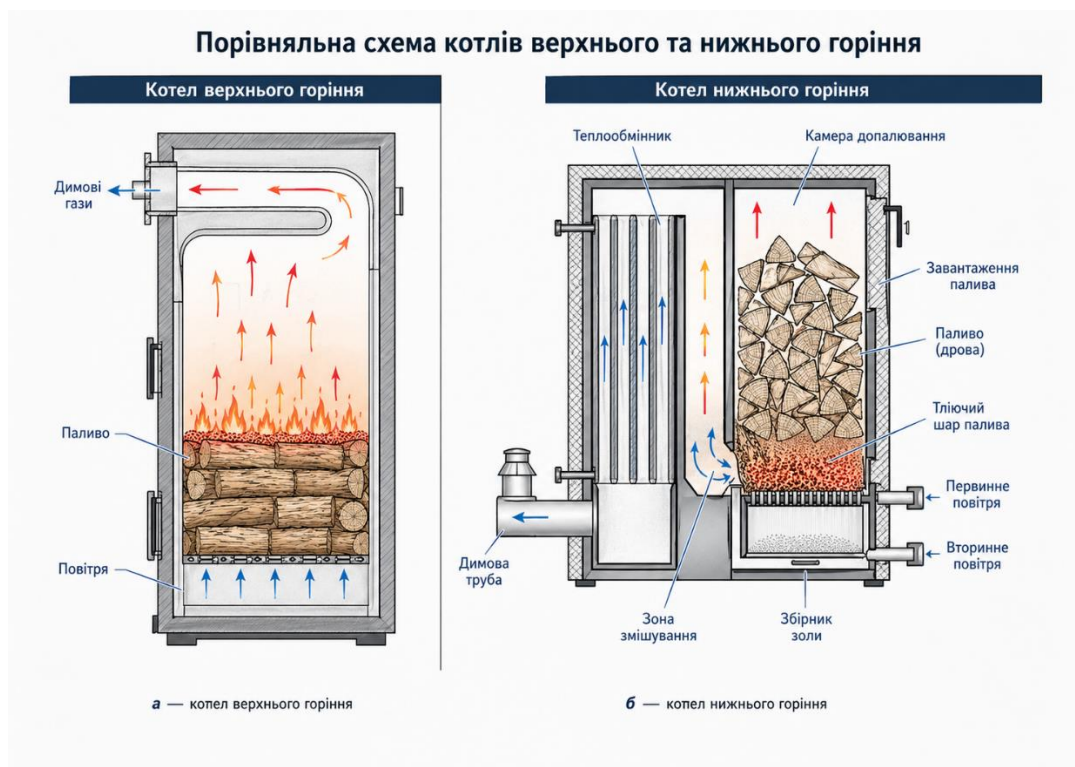


Рисунок 2.5 – Порівняльна схема котлів верхнього та нижнього горіння

З рисунка 2.5 видно, що в котлі верхнього горіння основна зона згоряння розміщується у верхній частині паливного шару, а продукти згоряння проходять через газоходи до димоходу. Така конструкція є простішою, але не завжди забезпечує повне використання летких горючих компонентів палива. У котлі нижнього горіння основна зона тління та горіння розташована в нижній частині шару, а газоподібні продукти надходять у камеру допалювання, де за участю вторинного повітря згорають повніше. Це підвищує теплову ефективність установки та зменшує втрати енергії з димовими газами.

Подальший розвиток цих конструктивних рішень реалізується в сучасних установках спалювання біомаси, у яких поряд із топковою частиною застосовують зону допалювання, теплообмінні поверхні, рециркуляцію димових газів та елементи автоматизованого контролю. Приклад такої схеми наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Сучасна технологічна схема спалювання біомаси на решітці

На рисунку 2.6 показано, що в сучасній теплотехнічній установці процес відбувається у кілька послідовних стадій. У нижній частині топки на решітці розміщується шар біомаси, крізь який подається первинне повітря. У верхній частині організовується подача вторинного повітря, що забезпечує допалювання газоподібних продуктів. Далі гарячі гази проходять через теплообмінник, де передають теплоту теплоносію. Для підвищення енергоефективності можуть застосовуватися рециркуляція димових газів, економайзер, повітрянагрівач, а також автоматичне регулювання подачі повітря і контролю основних параметрів процесу.

Наведена схема є важливою для аналізу існуючих технічних рішень, однак для даного дипломного проєкту вона має переважно оглядове значення. Це пояснюється тим, що в основі запропонованої модернізації лежить не просто пряме спалювання біомаси на решітці, а піролізний принцип роботи з допалюванням піролізного газу. Саме тому для подальшого обґрунтування конструкції найбільшу увагу слід приділяти схемі, наведеній на рисунку 2.4.

Перевага конструкцій з елементами піролізу полягає в тому, що вони дають змогу розділити процес термічного перетворення біомаси на окремі стадії: підсушування, термічний розклад, виділення піролізного газу та його подальше допалювання. Такий підхід створює кращі умови для повнішого використання летких горючих компонентів і підвищення загальної ефективності установки. Крім того, при належному конструктивному виконанні зменшуються втрати теплоти, підвищується стабільність теплового режиму та покращується рівень керованості процесом.

Слід зазначити, що аналіз конструктивних схем установок для термічної утилізації біомаси показує, що найбільш перспективними для підвищення енергоефективності є такі рішення, у яких передбачено раціональну подачу первинного і вторинного повітря, організацію окремої зони допалювання газів та ефективне використання теплоти продуктів згоряння. Це підтверджує доцільність модернізації теплотехнічної установки саме за піролізним принципом із допалюванням піролізного газу.

Отже, аналіз основних способів термічної утилізації рослинної біомаси показує, що пряме спалювання є найпростішим у реалізації, газифікація - більш складною, але технологічно перспективною, а піроліз із допалюванням піролізного газу дозволяє більш повно використовувати енергетичний потенціал біомаси та є доцільним для підвищення енергоефективності теплотехнічної установки.

Висновки

Таким чином, у результаті аналізу встановлено, що для енергетичного використання рослинної біомаси можуть застосовуватися пряме спалювання, газифікація та піроліз. Найбільш простим у технічній реалізації є пряме спалювання, однак воно не завжди забезпечує повне використання енергетичного потенціалу летких компонентів біомаси. Газифікація є більш складним процесом і потребує спеціального обладнання. Найбільш доцільним для даного дипломного проєкту є піроліз із допалюванням піролізного газу, оскільки саме цей спосіб забезпечує більш повне використання енергії рослинних відходів та створює передумови для підвищення енергоефективності модернізованої установки.

З КОНСТРУКТИВНА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ РОСЛИННИХ ВІДХОДІВ

3.1 Обґрунтування конструкції та принципу дії модернізованого пристрою

Найпростішим у реалізації є пряме спалювання біомаси, однак воно не завжди забезпечує повне використання летких горючих компонентів. Більш ефективним підходом є організація процесу за піролізним принципом, коли в установці створюються умови для термічного розкладання сировини з утворенням піролізного газу та його подальшим використанням.

Як базову для подальшого вдосконалення прийнято компактну теплотехнічну установку піролізного типу, конструкція якої є достатньо простою, технологічною у виготовленні та придатною для використання в умовах аграрного підприємства. Базова схема пристрою наведена на рисунку 3.1.

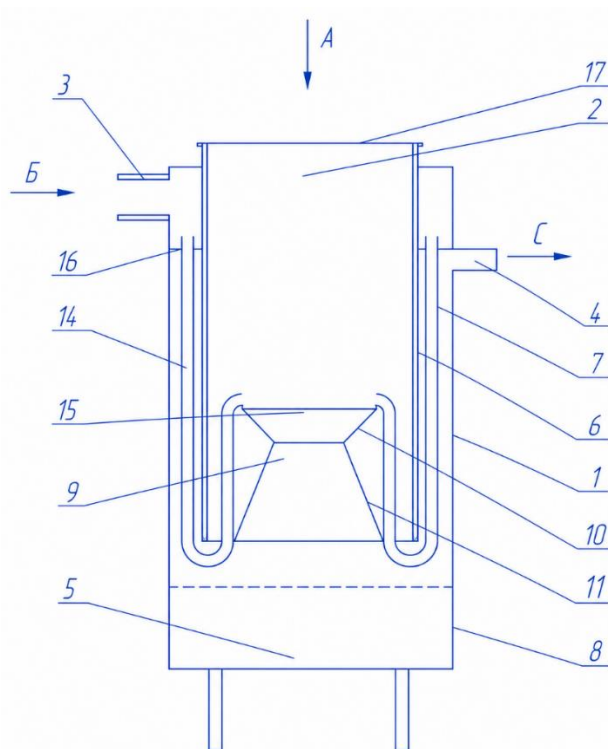


Рисунок 3.1 – Схема базового пристрою

Базовий пристрій складається з корпусу, внутрішнього робочого об'єму для завантаження рослинної сировини, системи підведення повітря, камери виділення піролізного газу, колосникової решітки та нижньої частини для накопичення твердих залишків. У процесі роботи рослинні відходи завантажуються у внутрішню порожнину корпусу, після чого під дією теплоти в нижній частині проходять стадії підсушування, нагрівання та термічного розкладання. У результаті утворюються газоподібні продукти та твердий залишок, що осідає в нижній частині установки.

Аналіз базової конструкції показує, що її перевагами є відносно невеликі габаритні розміри, конструктивна простота, зручність виготовлення та можливість роботи на місцевій рослинній сировині. Таке технічне рішення є придатним для господарств, де основними вимогами до обладнання є доступність, надійність та ремонтпридатність. Разом з тим базова конструкція має суттєвий недолік, який полягає в недостатньо повному використанні піролізного газу, що утворюється в процесі термічного розкладання біомаси. За звичайної схеми роботи цей газ відводиться з робочої зони, але не бере достатньої участі у формуванні теплового режиму топкової частини. Унаслідок цього температура в активній зоні може бути недостатньою для інтенсивного піролізу, що негативно впливає на ефективність установки.

З метою усунення зазначеного недоліку запропоновано конструктивну модернізацію пристрою, сутність якої полягає у частковому поверненні піролізного газу в зону топки. Загальна схема модернізованого пристрою наведена на рисунку 3.2.

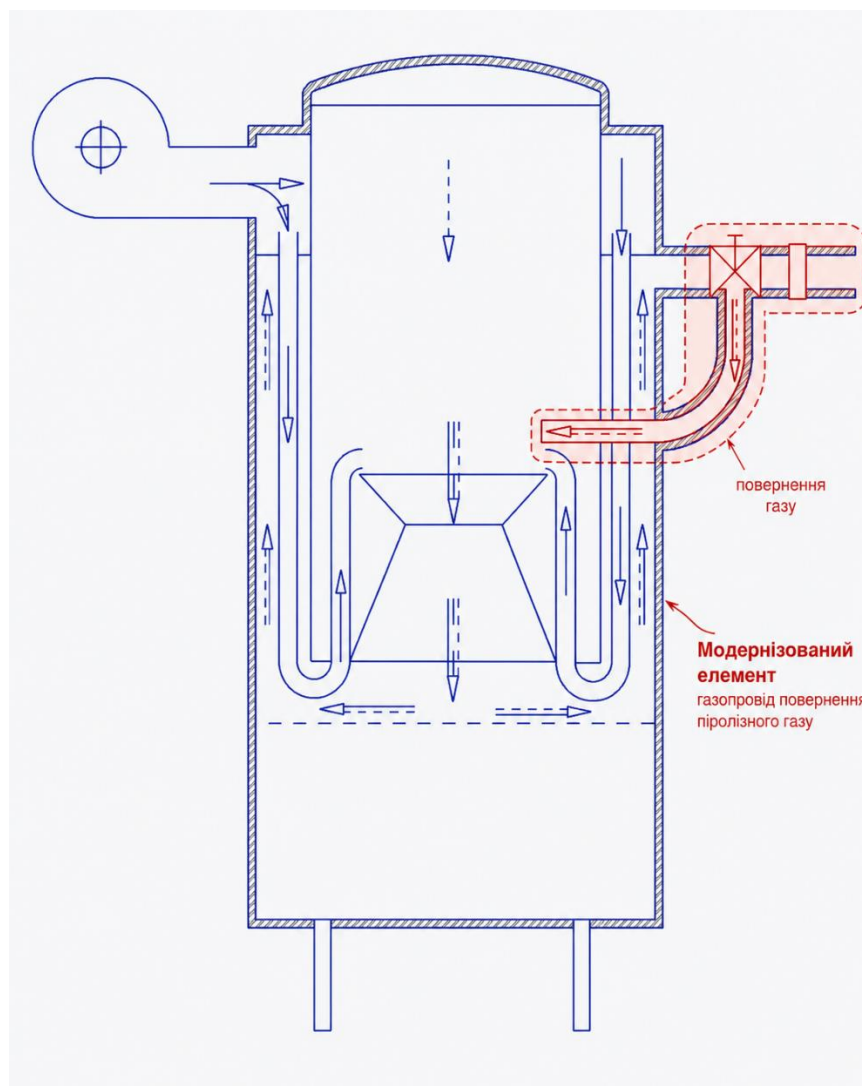


Рисунок 3.2 – Схема модернізованого пристрою

На відміну від базової конструкції, у модернізованому пристрої передбачено спеціальний газопровід, через який частина утвореного піролізного газу повертається у високотемпературну зону. Саме цей газопровід є основним конструктивним елементом модернізації. Його введення в схему роботи установки дозволяє використати частину газоподібних продуктів не лише як кінцевий енергетичний продукт, а й як внутрішнє джерело додаткового тепловиділення. У результаті підвищується температура в активній зоні, інтенсифікується термічний розклад нових порцій біомаси та покращуються умови утворення горючого газу.

Принцип дії модернізованого пристрою є таким. Рослинні відходи завантажуються у верхню частину робочого об'єму. За допомогою нагнітального вентилятора в установку подається свіже повітря, яке через систему повітропроводів надходить у робочу зону. У нижній частині формується зона високої температури, теплота якої забезпечує нагрівання шару біомаси. У міру прогрівання сировина проходить послідовні стадії підсушування, термічного розкладання та утворення піролізного газу. Газоподібні продукти переміщуються в камеру виділення піролізного газу, після чого їх потік поділяється на два напрями: одна частина спрямовується до споживача, а інша через газопровід повертається назад у топкову частину.

Після повернення в зону високих температур піролізний газ бере участь у додатковому тепловиділенні. Це забезпечує підвищення температурного рівня процесу, покращує прогрівання нових шарів рослинної сировини та сприяє стабільнішому перебігу піролізу. Таким чином, у модернізованому пристрої енергія піролізного газу використовується двічі: спочатку для підсилення внутрішнього теплового режиму установки, а потім - як частина горючого газу, що відводиться до споживача. Саме за рахунок цього досягається підвищення енергоефективності роботи пристрою.

Перевагою запропонованого технічного рішення є те, що модернізація не потребує кардинального ускладнення всієї конструкції. Основні зміни стосуються лише газового тракту, тому загальна компоновка пристрою, його габарити та базові функціональні вузли залишаються відносно простими. Це особливо важливо для умов аграрного підприємства, де складне багатоконтурне обладнання не завжди є економічно доцільним і зручним в експлуатації.

Отже, запропонована модернізація базового пристрою полягає у введенні газопроводу повернення піролізного газу в топкову частину, що дозволяє активізувати тепловий режим установки, підвищити повноту

використання енергетичного потенціалу рослинних відходів та покращити експлуатаційні показники обладнання. Така конструктивна схема є основою для подальшого визначення конструктивно-режимних параметрів модернізованого пристрою.

3.2 Визначення основних параметрів пристрою

Для розрахункового обґрунтування модернізованого пристрою як основне паливо приймаємо солому зернових культур. Такий вибір зумовлений її доступністю в умовах аграрного підприємства, достатньою теплотою згоряння та придатністю до використання в установках піролізного типу.

В основу модернізації покладено повернення частини піролізного газу в топкову зону, що відповідає наданому опису базової та модернізованої установки.

Для подальших розрахунків приймаємо такі вихідні дані: вологість соломи $W = 20\%$; зольність соломи $A = 6\%$; нижча теплота згоряння соломи $Q_{\text{нр}} = 15$ МДж/кг; об'єм приміщення, для якого передбачається теплозабезпечення 1200 м^3 ; питома теплова характеристика приміщення $q_v = 0,04 \text{ кВт/м}^3$; коефіцієнт запасу $k_z = 1,25$; коефіцієнт надлишку повітря $\alpha = 1,2$; питомий вихід піролізного газу $\nu_g = 3,0 \text{ м}^3/\text{кг}$; нижча теплота згоряння піролізного газу $q_g = 5,5 \text{ МДж/м}^3$; частка повернення піролізного газу $k_r = 0,20$; температура піролізного газу $t_g = 450^\circ\text{C}$; допустима швидкість газу в газопроводі $w_g = 7 \text{ м/с}$; ККД базового пристрою $\eta_1 = 0,68$; ККД модернізованого пристрою $\eta_2 = 0,75$.

Необхідну теплову потужність пристрою визначаємо за питомою тепловою характеристикою приміщення:

$$Q_{осн} = q_v \cdot V$$

де

$Q_{осн}$ -основна теплова потужність, кВт;

q_v -питома теплова характеристика приміщення, кВт/м³;

V -об'єм приміщення, м³.

Підставляємо числові значення:

$$Q_{осн} = 0,04 \cdot 1200 = 48 \text{ кВт}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу остаточна теплова потужність становить:

$$Q = k_z \cdot Q_{осн}$$

$$Q = 1,25 \cdot 48 = 60 \text{ кВт}$$

Отже, розрахункова теплова потужність модернізованого пристрою становить 60 кВт.

Годинну витрату біомаси для модернізованого пристрою визначаємо за формулою:

$$B_2 = \frac{3,6 \cdot Q}{Q_{нр} \cdot \eta_2}$$

де

B_2 -витрата біомаси для модернізованого пристрою, кг/год;

Q -теплова потужність пристрою, кВт;

$Q_{\text{нр}}$ -нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

η_2 -ККД модернізованого пристрою.

$$B_2 = \frac{3,6 \cdot 60}{15 \cdot 0,75} = \frac{216}{11,25} = 19,2 \text{ кг/год}$$

Для базового пристрою витрата палива становитиме:

$$B_1 = \frac{3,6 \cdot Q}{Q_{\text{нр}} \cdot \eta_1}$$

$$B_1 = \frac{3,6 \cdot 60}{15 \cdot 0,68} = \frac{216}{10,2} = 21,18 \text{ кг/год}$$

Отже, після модернізації витрата соломи зменшується з 21,18 до 19,2 кг/год.

Для соломи теоретичну потребу в повітрі приймаємо на рівні

$$L_0 = 4,5 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретична годинна витрата повітря:

$$L_{\text{теор}} = B_2 \cdot L_0$$

$$L_{\text{теор}} = 19,2 \cdot 4,5 = 86,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Дійсна витрата повітря з урахуванням коефіцієнта надлишку:

$$L_d = \alpha \cdot L_{\text{теор}}$$

$$L_d = 1,2 \cdot 86,4 = 103,68 \text{ м}^3/\text{год}$$

Приймаємо, що 70 % дійсної витрати подається як первинне повітря, а 30 % - як вторинне.

Тоді витрата первинного повітря:

$$L_{перв} = 0,7 \cdot L_d$$
$$L_{перв} = 0,7 \cdot 103,68 = 72,58 \text{ м}^3/\text{год}$$

Витрата вторинного повітря:

$$L_{втор} = 0,3 \cdot L_d$$
$$L_{втор} = 0,3 \cdot 103,68 = 31,10 \text{ м}^3/\text{год}$$

Отже, для роботи модернізованого пристрою необхідно подати 103,68 м³/год повітря, у тому числі 72,58 м³/год первинного і 31,10 м³/год вторинного.

Орієнтовний вихід піролізного газу визначаємо за питомим газовиділенням:

$$V_g = \nu_g \cdot B_2$$

де

V_g -вихід піролізного газу, м³/год;

ν_g -питомий вихід піролізного газу, м³/кг;

B_2 -витрата біомаси, кг/год.

$$V_g = 3,0 \cdot 19,2 = 57,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'єм газу, що повертається в топкову зону, визначаємо за формулою:

$$V_{нов} = k_r \cdot V_g$$

де

$V_{нов}$ -об'єм піролізного газу, що повертається, м³/год;

k_r -частка повернення газу;

V_g -загальний вихід піролізного газу, м³/год.

$$V_{нов} = 0,20 \cdot 57,6 = 11,52 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'єм газу, який надходить до споживача, становить:

$$V_{cn} = V_g - V_{нов}$$

$$V_{cn} = 57,6 - 11,52 = 46,08 \text{ м}^3/\text{год}$$

Теплову потужність потоку поверненого газу визначаємо:

$$Q_{нов} = \frac{V_{нов} \cdot q_g}{3,6}$$

де

$Q_{нов}$ -теплова потужність поверненого потоку газу, кВт;

q_g -нижча теплота згоряння піролізного газу, МДж/м³.

$$Q_{нов} = \frac{11,52 \cdot 5,5}{3,6} = \frac{63,36}{3,6} = 17,6 \text{ кВт}$$

Отже, повернення 20% піролізного газу забезпечує додатковий тепловий потік 17,6 кВт, що є достатнім для інтенсифікації теплового режиму в топковій зоні.

Оскільки температура піролізного газу значно перевищує температуру навколишнього середовища, необхідно врахувати його реальний об'єм при робочій температурі.

Дійсну витрату газу визначаємо:

$$V_{нов.д} = V_{нов} \cdot \frac{273 + t_g}{273}$$

де

$V_{нов.д}$ -дійсна витрата поверненого газу, м³/год;

t_g -температура газу, °C .

$$V_{нов.д} = 11,52 \cdot \frac{273 + 450}{273} = 11,52 \cdot \frac{723}{273} = 30,49 \text{ м}^3/\text{год} = \frac{30,49}{3600} = 0,00847 \text{ м}^3/\text{с}$$

Розрахунковий внутрішній діаметр газопроводу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V'_{нов.д}}{\pi \cdot w_g}}$$

де

d -внутрішній діаметр газопроводу, м;

w_g -допустима швидкість газу, м/с.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00847}{3,14 \cdot 7}} = \sqrt{0,00154} = 0,039 \text{ м} = 39 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартну трубу діаметром 45 * 3 мм, для якої внутрішній діаметр дорівнює 39 мм.

Перевіряємо фактичну швидкість руху газу:

$$w_f = \frac{4 \cdot V'_{\text{ног.д}}}{\pi \cdot d^2}$$
$$w_f = \frac{4 \cdot 0,00847}{3,14 \cdot 0,039^2} = 7,09 \text{ м/с}$$

Отже, прийнятий газопровід 45 * 3 мм забезпечує допустиму швидкість руху газу.

Втрати тиску на тертя визначаємо:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho \cdot w_f^2}{2}$$

де

$\Delta P_{\text{тр}}$ -втрати тиску на тертя, Па;

λ -коефіцієнт тертя;

l -довжина трубопроводу, м;

d -внутрішній діаметр трубопроводу, м;

ρ -густина газу, кг/м³;

w_f -фактична швидкість газу, м/с.

$$\lambda = 0,03,$$

$$l = 1,0 \text{ м},$$

$$\rho = 0,488 \text{ кг/м}^3$$

$$\Delta P_{mp} = 0,03 \cdot \frac{1,0}{0,039} \cdot \frac{0,488 \cdot 7,09^2}{2} = 9,4 \text{ Па}$$

Місцеві втрати визначаємо:

$$\Delta P_m = \sum \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w_f^2}{2}$$

Приймаємо суму коефіцієнтів місцевих опорів:

$$\sum \zeta = 4,0$$

Тоді

$$\Delta P_m = 4,0 \cdot \frac{0,488 \cdot 7,09^2}{2} = 49,0 \text{ Па}$$

Повні втрати тиску в газопроводі повернення:

$$\begin{aligned} \Delta P_g &= \Delta P_{mp} + \Delta P_m \\ \Delta P_g &= 9,4 + 49,0 = 58,4 \text{ Па} \end{aligned}$$

Підбір вентилятора:

Загальний аеродинамічний опір системи приймаємо:

$$\Delta P_c = 1000 \text{ Па}$$

Потужність вентилятора визначаємо за формулою:

$$N_v = \frac{L_d \cdot \Delta P_c}{3600 \cdot \eta_v}$$

де

N_v -потужність вентилятора, Вт;

L_d -дійсна витрата повітря, м³/год;

ΔP_c -загальний аеродинамічний опір системи, Па;

η_v -ККД вентилятора.

$$\eta_v = 0,6$$

$$N_v = \frac{103,68 \cdot 1000}{3600 \cdot 0,6} = 48 \text{ Вт}$$

З урахуванням запасу приймаємо вентилятор: продуктивність не менше 120 м³/год; повний тиск 1000 Па; потужність електродвигуна 0,12 кВт.

Годинна економія палива становить:

$$\Delta B = B_1 - B_2$$

$$\Delta B = 21,18 - 19,2 = 1,98 \text{ кг/год}$$

Відносне зменшення витрати палива:

$$\delta_B = \frac{\Delta B}{B_1} \cdot 100\%$$

$$\delta_B = \frac{1,98}{21,18} \cdot 100 = 9,33\%$$

Приріст коефіцієнта корисної дії визначаємо:

$$\delta_\eta = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1} \cdot 100\%$$

$$\delta_\eta = \frac{0,75 - 0,68}{0,68} \cdot 100 = 10,29\%$$

Отже, модернізація дає можливість зменшити витрату біомаси на 9,33% і підвищити енергоефективність пристрою на 10,29%.

Основним модернізованим вузлом є газопровід повернення піролізного газу. Мінімальну товщину його стінки визначаємо за формулою:

$$\delta_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p}$$

де

δ_p -розрахункова товщина стінки, мм;

p -робочий тиск, МПа;

D -зовнішній діаметр труби, мм;

$[\sigma]$ -допустиме напруження, МПа;

φ -коефіцієнт міцності зварного шва.

$$p = 0,0015 \text{ МПа,}$$

$$D = 45 \text{ мм,}$$

$$[\sigma] = 140 \text{ МПа,}$$

$$\varphi = 0,9$$

$$\delta_p = \frac{0,0015 \cdot 45}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,0015} = 0,00027 \text{ мм}$$

Отримане значення значно менше конструктивно допустимого, тому товщину стінки приймаємо з урахуванням жорсткості, температурного режиму та технології виготовлення:

$$\delta = 3 \text{ мм}$$

Отже, труба 45 * 3 мм є конструктивно придатною для використання в модернізованому вузлі.

Висновки

У результаті розрахунків встановлено, що для забезпечення теплових потреб об'єкта необхідна теплова потужність пристрою становить 60 кВт. Витрата соломи для модернізованого пристрою дорівнює 19,2 кг/год, а загальна потреба в повітрі -103,68 м³/год.

Орієнтовний вихід піролізного газу становить 57,6 м³/год, з яких 11,52 м³ год доцільно повертати в топкову зону. Для реалізації цього технічного рішення обґрунтовано застосування газопроводу 45*3 мм, а також вентилятора продуктивністю 120 м³/год і потужністю 0,12 кВт.

Запропонована модернізація дозволяє зменшити витрату біомаси на 9,33% та підвищити енергоефективність пристрою на 10,29%, що підтверджує доцільність її впровадження.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

За умови правильної організації технологічного процесу модернізований пристрій дає змогу не лише ефективно використовувати рослинні відходи як джерело енергії, а й зменшувати їх неконтрольоване накопичення та спалювання на відкритих майданчиках. Це позитивно впливає на санітарний стан території підприємства, знижує втрати біомаси та підвищує рівень раціонального використання місцевих ресурсів. Водночас під час експлуатації установки необхідно забезпечити герметичність газового тракту, справність димоходу, контроль температурного режиму, своєчасне видалення золи та ефективну вентиляцію приміщення.

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час експлуатації модернізованого пристрою на працівників можуть впливати небезпечні та шкідливі виробничі фактори фізичного, хімічного та пожежонебезпечного характеру. До основних фізичних факторів належать підвищена температура поверхонь обладнання, нагрітих газоходів, топкової частини, корпусу пристрою та зони вивантаження твердих залишків. У разі безпосереднього контакту з такими поверхнями можливі опіки різного ступеня тяжкості.

Суттєву небезпеку створює піролізний газ, що утворюється у процесі термічного розкладання рослинних відходів. Він є горючим середовищем, а при порушенні герметичності трубопроводів, арматури або місць з'єднання може накопичуватися в робочій зоні. У разі змішування з повітрям та наявності джерела займання виникає ризик загоряння або спалаху. Додатково при нестабільному режимі роботи установки можливе утворення чадного газу, який є токсичним для людини.

При завантаженні, переміщенні та зберіганні рослинних відходів у повітря робочої зони може потрапляти пил органічного походження. Він

погіршує умови праці, подразнює органи дихання та слизові оболонки, а в разі значного накопичення збільшує пожежну небезпеку приміщення. До шкідливих факторів слід також віднести шум і вібрацію від роботи вентилятора та допоміжних механізмів.

Певну небезпеку становлять механічні фактори, пов'язані з рухомими елементами вентилятора, завантажувальними і розвантажувальними вузлами, а також з гострими кромками металевих деталей. При технічному обслуговуванні або ремонті вони можуть бути причиною порізів, ударів чи защемлень. Таким чином, робота з модернізованою установкою потребує дотримання комплексу організаційних і технічних заходів безпеки.

4.2 Вимоги безпеки під час монтажу, обслуговування та експлуатації пристрою

Монтаж модернізованого пристрою повинен виконуватися на міцній і рівній основі, яка виключає перекіс корпусу, просідання та виникнення додаткових навантажень на зварні з'єднання і трубопроводи. Розміщення установки має забезпечувати вільний доступ до завантажувального отвору, топкової частини, вентилятора, газопроводу повернення піролізного газу, зольника та контрольно-регулювальних елементів.

Особливу увагу необхідно приділяти якості монтажу модернізованого газопроводу повернення піролізного газу. Всі з'єднання повинні бути герметичними, а запірно-регулювальні елементи -справними та зручними для обслуговування. Перед введенням пристрою в роботу слід перевірити стан димоходу, вентилятора, запірної арматури, кріплень, а також відсутність сторонніх предметів у внутрішніх порожнинах установки.

Пуск пристрою необхідно виконувати лише після повної перевірки працездатності всіх вузлів. Під час експлуатації забороняється перевищувати допустимі режими роботи, використовувати надмірно вологу сировину, залишати установку без нагляду, а також виконувати ремонт або очищення вузлів при працюючому обладнанні. Усі профілактичні та

ремонтні роботи допускається проводити лише після повної зупинки пристрою, відключення вентилятора та охолодження нагрітих поверхонь до безпечної температури.

Обслуговуючий персонал повинен працювати у спецодязі, захисних рукавицях, закритому взутті, а за потреби -у захисних окулярах і респіраторі. Працівники повинні пройти первинний і повторний інструктажі з охорони праці, бути ознайомленими з порядком пуску, зупинки, очищення і дій у разі аварійної ситуації.

4.3 Заходи пожежної безпеки при роботі з рослинними відходами та піролізним газом

Рослинні відходи належать до пожежонебезпечної сировини, а піролізний газ є горючим продуктом, тому вимоги пожежної безпеки під час роботи з модернізованим пристроєм мають першочергове значення. Найбільша небезпека виникає в разі накопичення пилу, перегріву конструкцій, витoku газу, порушення режиму подачі повітря та зниження тяги в димоході.

Біля пристрою не допускається зберігання великого запасу сухої біомаси, сторонніх горючих матеріалів, тари, мастильних речовин і ганчір'я. Оперативний запас сировини слід розміщувати на безпечній відстані від топкової частини. Поверхні, які нагріваються під час роботи, за можливості мають бути теплоізовані або огорожені.

У приміщенні, де розташовано установку, обов'язково повинні бути первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, ящик з піском, лопата. Електрообладнання вентилятора та систем керування повинно бути справним, а кабельні лінії -захищеними від перегріву та механічних пошкоджень. Забороняється використовувати відкритий вогонь для перевірки герметичності газового тракту. У разі виявлення запаху газу або ознак його витoku установку слід негайно зупинити, перекрити відповідні канали, провітрити приміщення та усунути несправність.

Димохід повинен забезпечувати стійке відведення продуктів згоряння, не мати тріщин, засмічень та значних відкладень сажі. Його очищення потрібно виконувати регулярно, оскільки накопичення сажистих речовин збільшує пожежну небезпеку та погіршує тягу. Дотримання цих вимог знижує ймовірність аварійної ситуації та сприяє безпечній роботі пристрою.

4.4 Вимоги до вентиляції, контролю температури та газового середовища

Приміщення, у якому встановлено модернізований пристрій, повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією або мати достатній природний повітрообмін. Це необхідно для видалення надлишкового тепла, пилу та можливих домішок шкідливих газів. Вентиляція повинна забезпечувати підтримання допустимого складу повітря в робочій зоні та запобігати накопиченню небезпечних концентрацій продуктів неповного згоряння.

Під час експлуатації необхідно здійснювати контроль температури в основних зонах пристрою: у топковій частині, зоні піролізу, газопроводі повернення та в районі димоходу. Надмірне зростання температури може призвести до перегріву металу, зниження довговічності конструкції та підвищення пожежної небезпеки. З цієї причини важливо своєчасно регулювати подачу повітря та контролювати режим повернення піролізного газу.

Окремо слід контролювати газове середовище в зоні розміщення установки. За можливості доцільно передбачити використання сигналізаторів чадного газу та димових датчиків. Їх встановлення дозволяє своєчасно виявити відхилення в роботі обладнання, порушення тяги або неповне згоряння. Наявність засобів контролю особливо важлива в закритих виробничих приміщеннях.

4.5 Заходи захисту навколишнього середовища при експлуатації пристрою

Екологічна доцільність використання модернізованого пристрою полягає в тому, що він дозволяє раціонально використовувати рослинні відходи, які в іншому випадку можуть накопичуватися на території господарства або спалюватися безконтрольно. Упорядкована термічна утилізація біомаси сприяє зменшенню засмічення виробничих майданчиків і підвищує рівень ресурсозбереження.

Разом з тим під час роботи установки утворюються димові гази та тверді залишки. Для зменшення негативного впливу на атмосферне повітря необхідно забезпечити повніше згоряння газоподібних продуктів, стабільну подачу повітря і справний стан димоходу. Саме модернізація з поверненням частини піролізного газу в топкову зону сприяє підвищенню температури процесу та покращенню повноти згоряння, що зменшує викиди недопалених компонентів.

Зола та інші тверді залишки мають збиратися в окрему тару і видалятися з дотриманням санітарних вимог. Їх не слід висипати безпосередньо на ґрунт у межах виробничого майданчика. За відсутності шкідливих домішок зола може використовуватися як мінеральна добавка або добриво, однак рішення про її подальше використання має прийматися з урахуванням конкретних умов господарства.

Важливим напрямом захисту довкілля є також зменшення втрат біомаси під час її зберігання та транспортування. Сировину слід зберігати в сухих умовах, щоб запобігти її загниванню, самозігріванню та зайвому утворенню пилу. Територію біля установки необхідно утримувати в чистоті, не допускати розсипання сировини, накопичення золи та засмічення дренажних шляхів.

Таким чином, правильна організація експлуатації модернізованого пристрою дає змогу одночасно вирішувати завдання енергозбереження і зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Висновки

Для забезпечення безпечної роботи установки необхідно дотримуватися вимог під час монтажу, обслуговування та експлуатації, контролювати герметичність газового тракту, підтримувати справний стан вентилятора, димоходу й засобів регулювання, а також забезпечувати персонал засобами індивідуального захисту.

Визначено, що важливою умовою безпечної експлуатації є реалізація заходів пожежної безпеки, організація ефективної вентиляції приміщення, контроль температури й газового середовища. Показано, що модернізований пристрій за умови правильної експлуатації дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля шляхом раціональної утилізації рослинних відходів, покращення повноти згоряння та впорядкованого поводження з твердими залишками.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

У дипломному проєкті запропоновано модернізацію пристрою для енергетичного використання рослинних відходів, робота якого ґрунтується на піролізному принципі з частковим поверненням піролізного газу до топкової зони. Для підтвердження доцільності впровадження запропонованого рішення необхідно порівняти витрати на отримання теплоти у двох варіантах: у базовому, де використовується традиційне паливо, і в модернізованому, де джерелом енергії є рослинна біомаса.

Економічну оцінку виконуємо для теплопостачання адміністративно-побутових приміщень господарства. До них належать офісні кімнати, бухгалтерія, приміщення тракторних бригад та їдальні. Розрахунок ведемо для опалювального сезону тривалістю 150 діб при середній добовій роботі установки 12 год. Отже, сумарний річний час використання обладнання становить

$$\tau = 150 \cdot 12 = 1800 \text{ год}$$

Сумарні витрати за рік визначаємо як суму основних складових:

$$C_p = C_n + C_a + C_o + C_e + C_i$$

де

C_p — повні річні витрати на функціонування установки, грн;

C_n — витрати, пов'язані з персоналом, грн;

C_a — амортизаційна складова, грн;

C_o — витрати на обслуговування та ремонт, грн;

C_e — витрати на енергоносії або паливо, грн;

C_i — супутні витрати, грн.

Річні витрати на персонал визначаємо через річний фонд оплати праці та нарахування на нього:

$$C_n = F + N_c$$

де

F — річний фонд оплати праці, грн;

N_c — сума соціальних нарахувань, грн.

Річний фонд оплати праці становить:

$$F = Z_m \cdot n \cdot 12$$

де

Z_m — середньомісячна заробітна плата працівника, грн;

n — кількість працівників, осіб.

Суму нарахувань визначаємо як частку від фонду оплати праці:

$$N_c = k_c \cdot F$$

де

k_c — коефіцієнт соціальних нарахувань.

Для базового варіанта приймаємо:

$$Z_{м.б} = 6200 \text{ грн}, \quad n = 1, \quad k_c = 0,22.$$

$$F_б = 6200 \cdot 1 \cdot 12 = 74400 \text{ грн}$$

$$N_{c.б} = 0,22 \cdot 74400 = 16368 \text{ грн}$$

$$C_{n.б} = 74400 + 16368 = 90768 \text{ грн}$$

Для модернізованого варіанта приймаємо:

$$Z_{м.м} = 6800 \text{ грн}, \quad n = 1, \quad k_c = 0,22.$$

$$F_{м} = 6800 \cdot 1 \cdot 12 = 81600 \text{ грн}$$

$$N_{с.м} = 0,22 \cdot 81600 = 17952 \text{ грн}$$

$$C_{n.м} = 81600 + 17952 = 99552 \text{ грн}$$

Щорічні амортизаційні витрати визначаємо за виразом:

$$C_a = C_{об} \cdot k_a$$

де

$C_{об}$ — первісна або балансова вартість обладнання, грн;

k_a — частка річної амортизації.

Для базового обладнання $C_{об.б} = 98400$ грн; для модернізованого обладнання

$C_{об.м} = 140000$ грн; $k_a = 0,15$.

$$C_{a.б} = 98400 \cdot 0,15 = 14760 \text{ грн}$$

$$C_{a.м} = 140000 \cdot 0,15 = 21000 \text{ грн}$$

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт приймаємо як частку від вартості обладнання:

$$C_o = C_{об} \cdot k_o$$

де

k_o — коефіцієнт витрат на технічне обслуговування та ремонт.

$$k_o = 0,045$$

Тоді

$$C_{o.\bar{o}} = 98400 \cdot 0,045 = 4428 \text{ грн}$$

$$C_{o.m} = 140000 \cdot 0,045 = 6300 \text{ грн}$$

Річні витрати на паливо або енергоносії визначаємо так:

$$C_e = \tau \cdot c_z$$

де

τ — річний час роботи обладнання, год;

c_z — витрати на паливо за 1 год роботи, грн/год.

Базовий варіант:

Для газового опалення погодинні витрати становлять:

$$c_{z.\bar{o}} = p_z \cdot q_z$$

де

p_z — вартість 1 м³ природного газу, грн/м³;

q_z — годинна витрата газу, м³/год.

$$p_z = 18 \text{ грн/м}^3; \quad q_z = 7,1 \text{ м}^3/\text{год.}$$

$$c_{z.\bar{o}} = 18 \cdot 7,1 = 127,8 \text{ грн/год}$$

$$C_{e,\bar{o}} = 1800 \cdot 127,8 = 230040 \text{ грн}$$

Модернізований варіант:

Для пристрою на рослинній біомасі погодинну вартість палива визначаємо:

$$c_{z,m} = b \cdot p_{\bar{o}}$$

де

b — витрата біомаси за годину, кг/год;

$p_{\bar{o}}$ — собівартість 1 кг біомаси, грн/кг.

$$c_{z,m} = 19,2 \cdot 2,8 = 53,76 \text{ грн/год}$$

$$C_{e,m} = 1800 \cdot 53,76 = 96768 \text{ грн}$$

Інші витрати визначаємо укрупнено як 5 % від суми основних витрат:

$$C_i = 0,05 \cdot (C_n + C_a + C_o + C_e)$$

Для базового варіанта:

$$C_{i,\bar{o}} = 0,05 \cdot (90768 + 14760 + 4428 + 230040) = 0,05 \cdot 339996 = 16999,8 \text{ грн}$$

Для модернізованого варіанта:

$$C_{i,m} = 0,05 \cdot (99552 + 21000 + 6300 + 96768) = 0,05 \cdot 223620 = 11181 \text{ грн}$$

Загальна сума витрат за рік, для базового варіанта:

$$C_{p.\delta} = 90768 + 14760 + 4428 + 230040 + 16999,8 = 356995,8 \text{ грн}$$

Для модернізованого варіанта:

$$C_{p.m} = 99552 + 21000 + 6300 + 96768 + 11181 = 234801 \text{ грн}$$

Щорічне скорочення витрат після впровадження запропонованого рішення визначаємо як різницю між сумарними річними витратами двох варіантів:

$$\Delta C = C_{p.\delta} - C_{p.m}$$

$$\Delta C = 356995,8 - 234801 = 122194,8 \text{ грн}$$

Додаткові витрати на реалізацію проєкту визначаємо як різницю між вартістю модернізованого і базового обладнання:

$$\Delta K = C_{об.m} - C_{об.\delta}$$

$$\Delta K = 140000 - 98400 = 41600 \text{ грн}$$

Період повернення вкладених коштів визначаємо за формулою:

$$T_n = \frac{\Delta K}{\Delta C}$$

де

T_n — строк повернення вкладень, років.

$$T_n = \frac{41600}{122194,8} = 0,34 \text{ року} = 0,34 \cdot 365 = 124 \text{ дні}$$

Отже, додаткові вкладення у модернізацію повертаються приблизно за 124 дні.

Порівняння економічних показників базового та модернізованого варіантів:

Найменування показника	Одиниця виміру	Існуючий варіант	Запропонований варіант
Первісна вартість обладнання	грн	98400	140000
Витрати на персонал за рік	грн	90768	99552
Амортизаційні нарахування	грн	14760	21000
Витрати на технічне обслуговування і ремонт	грн	4428	6300
Паливна складова річних витрат	грн	230040	96768
Супутні витрати	грн	16999,8	11181,0
Загальні витрати за рік	грн	356995,8	234801,0
Річна економія коштів	грн	—	122194,8
Додаткові вкладення в реалізацію проєкту	грн	—	41600
Орієнтовний період повернення вкладень	днів	—	124

Висновки

Виконане економічне обґрунтування показало, що використання модернізованого пристрою для утилізації рослинних відходів є фінансово виправданим. Незважаючи на збільшення початкової вартості обладнання, щорічні витрати на теплозабезпечення зменшуються досить суттєво.

Основний позитивний результат досягається за рахунок скорочення паливної складової, оскільки місце природного газу займає значно дешевша рослинна біомаса.

Сумарне щорічне скорочення витрат становить 122194,8 грн, а час повернення додатково вкладених коштів дорівнює 124 дням. Це дає підстави вважати, що запропонована модернізація має не лише технічну, а й виражену господарську доцільність, тому її впровадження для умов аграрного підприємства є економічно обґрунтованим.

ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу господарства встановлено, що підприємство має достатню сировинну базу для енергетичного використання рослинних відходів. Структура посівних площ і характер побічної продукції рослинництва підтверджують можливість використання соломи та інших залишків як місцевого палива, що знижує залежність від традиційних енергоносіїв.
2. Під час аналітичного огляду способів термічної утилізації біомаси встановлено, що для умов аграрного підприємства найбільш доцільним є використання установки піролізного типу з допалюванням газоподібних продуктів. У порівнянні з прямим спалюванням та складними газифікаційними системами такий варіант поєднує конструктивну простоту, достатню надійність і кращі умови використання енергетичного потенціалу рослинної сировини.
3. У якості базового технічного рішення для вдосконалення обрано компактний пристрій для термічної утилізації рослинних відходів. Запропонована модернізація полягає у введенні газопроводу повернення частини піролізного газу в топкову зону, що дало можливість посилити тепловий режим пристрою, покращити умови перебігу піролізу та підвищити повноту використання горючих компонентів.
4. Розрахунковим обґрунтуванням встановлено, що для забезпечення теплових потреб об'єкта необхідна потужність пристрою становить 60 кВт. Визначено, що годинна витрата соломи для модернізованого варіанта дорівнює 19,2 кг/год, а загальна потреба в повітрі становить 103,68 м³/год, у тому числі 72,58 м³/год первинного та 31,10 м³/год вторинного повітря.

5. У результаті розрахунків одержано, що орієнтовний вихід піролізного газу становить 57,6 м³/год. Обґрунтовано доцільність повернення в топкову частину 20 % цього потоку, тобто 11,52 м³/год, при цьому теплова потужність повернутого газу становить 17,6 кВт. Саме це рішення є основою підвищення ефективності модернізованого пристрою.
6. Для реалізації запропонованої модернізації виконано розрахунок параметрів газопроводу повернення піролізного газу. Встановлено, що для роботи системи доцільно використати газопровід розміром 45×3 мм, який забезпечує швидкість руху газу 7,09 м/с. Також обґрунтовано вибір вентилятора продуктивністю 120 м³/год з потужністю електродвигуна 0,12 кВт.
7. Оцінкою теплової ефективності встановлено, що запропонована модернізація дозволяє підвищити енергоефективність пристрою на 10,29 % порівняно з базовим варіантом. Це підтверджує правильність прийнятого конструктивного рішення та його практичну доцільність.
8. У розділі з охорони праці та захисту навколишнього середовища визначено основні небезпечні й шкідливі фактори, що виникають під час експлуатації модернізованого пристрою, та розроблено заходи щодо зменшення їх впливу. Встановлено, що за умови дотримання вимог пожежної безпеки, контролю температурного режиму, герметичності газового тракту та належної вентиляції робота установки є безпечною для персоналу і не створює надмірного негативного впливу на довкілля.
9. Техніко-економічна оцінка показала, що впровадження модернізованого пристрою є економічно вигідним. Річна економія коштів становить 122194,8 грн, а строк окупності додаткових вкладень дорівнює 124 дні. Це свідчить про достатньо швидке

повернення інвестицій та підтверджує економічну доцільність запропонованого проєкту для умов аграрного підприємства.

10. Отже, поставлену в дипломному проєкті мету досягнуто. Запропонована модернізація пристрою для утилізації рослинних відходів забезпечує підвищення енергоефективності, покращення експлуатаційних показників, зменшення витрат на теплозабезпечення та раціональніше використання місцевих паливних ресурсів господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс].
2. Про управління відходами : Закон України від 20.06.2022 № 2320-ІХ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. [Електронний ресурс].
3. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні : практичний посібник / за ред. Г. Гелетути. Київ : Поліграф плюс, 2016. 104 с. ISBN 978-966-8977-67-1.
4. Желєзна Т. А., Олійник Є. М., Клименко В. Н., Ігнатенко О. П., Ольшанська Н. В., Рябуша О. Ю. Практичний посібник з використання біомаси в якості палива у муніципальному секторі України (для представників агропромислового комплексу). [Б. м.] : ПРООН, 2017. 37 с.
5. Карп І. М., Нікітін Є. Є., Басок Б. І. та ін. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні : у 2 кн. Кн. 2. Київ : Видавництво «Наукова думка» НАН України, 2022. 176 с.
6. Трачук А. Аналіз потенціалу та перспектив розвитку технологій біомаси в Україні. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2024. № 1. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2024.297589.
7. Панчук А. М., Панчук М. В., Дейнега Р. О. Перспективи впровадження технологій піролізу біомаси для збільшення обсягів виробництва біопалив. Нафтогазова енергетика. 2024. № 2(42). С. 137–145. DOI: 10.31471/1993-9868-2024-2(42)-137-145.

8. Panchuk M. V., Semianyk I. M., Mandryk I. O. Solid Biofuel Production Perspectives in Ukraine. *Oil and Gas Power Engineering*. 2019. No. 2(32). P. 70–78. DOI: 10.31471/1993-9868-2019-2(32)-70-78.
9. Tezer Ö., Karabağ N., Öngen A., Çolpan C. Ö., Ayol A. Biomass gasification for sustainable energy production: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2022. Vol. 47, Issue 34. P. 15419–15433. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.02.158.
10. Vuppaladadiyam A. K., Vuppaladadiyam S. S. V., Sikarwar V. S. et al. A critical review on biomass pyrolysis: Reaction mechanisms, process modeling and potential challenges. *Journal of the Energy Institute*. 2023. Vol. 108. Art. 101236. DOI: 10.1016/j.joei.2023.101236.
11. Hu X., Gholizadeh M. Biomass pyrolysis: A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialisation stage. *Journal of Energy Chemistry*. 2019. Vol. 39. P. 109–143. DOI: 10.1016/j.jechem.2019.01.024.
12. Situmorang Y. A., Zhao Z., Yoshida A., Abudula A., Guan G. Small-scale biomass gasification systems for power generation (<200 kW class): A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 117. Art. 109486. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109486.
13. Puri L., Hu Y., Naterer G. Critical review of the role of ash content and composition in biomass pyrolysis. *Frontiers in Fuels*. 2024. Vol. 2. Art. 1378361. DOI: 10.3389/ffuel.2024.1378361.

ДОДАТКИ

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

Підвищення енергоефективності теплогенерувального пристрою для
утилізації рослинних відходів

Демонстраційний матеріал до дипломного проекту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: здобувач групи АІ-4-22
Красношкі Станіслав Сергійович

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

Дніпро 2026

Активация Windows

1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ
ТЕПЛОГЕНЕРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

1.1 Загальна характеристика господарства

- ✓ Аграрне підприємство спеціалізується на вирощуванні зернових та технічних культур.
- ✓ У процесі вирощування та первинної доробки утворюється значна кількість рослинних відходів: соломка зернових, стебла кукурудзи, стеблова маса соняшнику, полова, відходи очищення зерна тощо.
- ✓ Підприємство потребує значних обсягів теплової енергії для сушіння продукції, обігріву виробничих приміщень, майстерень, складів та інших об'єктів інфраструктури.
- ✓ Використання власних рослинних відходів як палива дозволить зменшити витрати на традиційні енергоносії та підвищити енергонезалежність господарства.

1.2 Організаційно-виробнича структура підприємства

- Управління господарством здійснюється керівником та виробничо-технічними службами.
- До основних виробничих підрозділів належать: польові підрозділи, машинно-тракторний парк, дільниці первинної доробки та зберігання продукції, ремонтно-обслуговувальна база, складське господарство, енергетичні об'єкти.
- Теплова енергія використовується у сушарних відділеннях, зерноочисних комплексах, виробничих майстернях, складських приміщеннях та інших технологічних дільницях.
- Наявність рослинних відходів створює передумови для інтеграції теплогенерувального обладнання, що працює на біомасі.

1.3 Специфікація господарства та основні напрями діяльності

Культура	Площа посівів, га	Частка у структурі посівів, %	Побілки проварюють (відходи)
Озима пшениця	950	31,7	солома, полова
Кукурудза на зерно	850	28,3	стеблова маса, стрижки
Соняшник	700	23,3	стеблова маса, шовки, лузга
Ячмень пріий	300	10,0	солома, полова
Інші культури	200	6,7	різні рослинні залишки
Разом	3000	100	—

Рис. 1.1 – Схема організаційно-виробничої структури та теплових потреб господарства



Основні теплові потреби господарства

Об'єкти споживання теплової енергії	Призначення	Тип використання теплової енергії
Сушарні відділення	Сушіння зерна та технічних культур	Технологічне
Зерноочисні комплекси	Очищення та сепарація зерна	Технологічне
Виробничі майстерні	Опалення та підтримання температурного режиму	Опалювальне
Складські приміщення	Зберігання продукції та матеріалів	Опалювальне
Адміністративно-побутові об'єкти	Опалення офісних, побутових та допоміжних приміщень	Опалювальне

Висновок: господарство має стабільну сировинну базу у вигляді рослинних відходів та значну потребу в тепловій енергії, що обґрунтовує доцільність модернізації теплогенерувального пристрою для роботи на біомасі.

Активация Windows



Основні способи та конструктивні схеми установок термічної утилізації рослинної біомаси

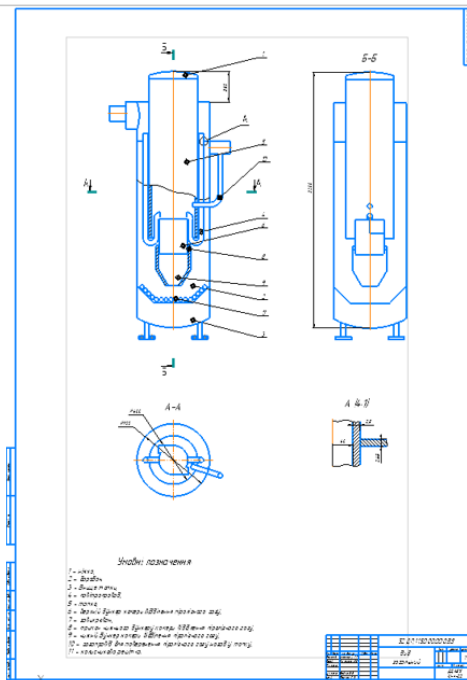
Основні способи термічної утилізації



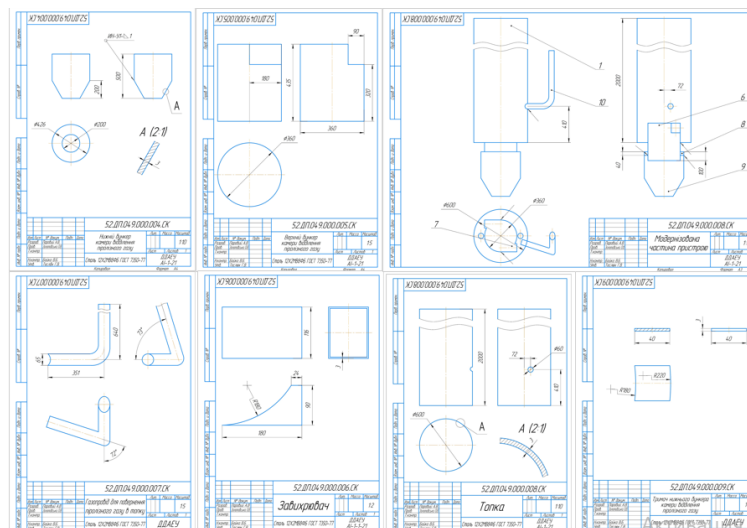
Конструктивні схеми установок



Активация Windows



Активация Windows



Активация Windows

Наименования показателя	Единица измерения	Исходящий вариант	Предлагаемый вариант
Первоначальная стоимость оборудования	грн	98400	140000
Витрати на персонал за рік	грн	90768	99552
Амортизаційні нарахування	грн	14760	21000
Витрати на технічне обслуговування і ремонт	грн	4428	6300
Паливна складова річних витрат	грн	230040	96768
Супутні витрати	грн	16999,8	11181,0
Загальні витрати за рік	грн	356995,8	234801,0
Річна економія коштів	грн	—	122194,8
Додаткові вкладення в реалізацію проекту	грн	—	41600
Орієнтовний період повернення вкладень	днів	—	124

С. 27	С. 28
С. 29	С. 30
С. 31	С. 32
С. 33	С. 34
С. 35	С. 36
С. 37	С. 38
С. 39	С. 40
С. 41	С. 42
С. 43	С. 44
С. 45	С. 46
С. 47	С. 48
С. 49	С. 50
С. 51	С. 52
С. 53	С. 54
С. 55	С. 56
С. 57	С. 58
С. 59	С. 60
С. 61	С. 62
С. 63	С. 64
С. 65	С. 66
С. 67	С. 68
С. 69	С. 70
С. 71	С. 72
С. 73	С. 74
С. 75	С. 76
С. 77	С. 78
С. 79	С. 80
С. 81	С. 82
С. 83	С. 84
С. 85	С. 86
С. 87	С. 88
С. 89	С. 90
С. 91	С. 92
С. 93	С. 94
С. 95	С. 96
С. 97	С. 98
С. 99	С. 100

Активация Windows