ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКНОМІЧНИЙ 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 пристрою для отримання газоподібного палива з рослинних решток

Виконав: студент 4 курсу групи АІ-1-21

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Паровий Артем Валерійович _____

Керівник: _____ Золотовська Олена Володимирівна

Рецензент: _____ _____

Дніпро – 2025

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)

(підпис) (прізвище, ініціали)

«____» _____ 2025 р.

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

Паровий Артем Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення пристрою для отримання газоподібного палива з рослинних решток

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

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 7 » травня 2025 року № 964

2. Строк подання студентом роботи 07.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності господарства. Аналіз літературних джерел та обгрунтування актуальності дипломного проєкту. Аналіз конструктивно-режимних удосконалень пристроїв для отримання газоподібного палива з рослинних решток.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1 Аналіз виробничої діяльності агрофірми. 2. Аналіз існуючих конструкцій та обґрунтування теми дипломного

проекту 3. Тепловий та конструктивний розрахунок проекту. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічні показники проєкту. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)1. Аналіз господарства. Таблиці (А1). 2Технологічна схема модернізованого пристрою (А1). 3. Вид загальний (А1). 4. Складальне креслення. Нижній юункер камери відділення піролізного газу (А4). 5. Верхній бункер (А4). Завихрувач. (А4). Газопровод для повернення ПГ в топку (А4). Модернізована частина пристрою (А3). Топка (А4). Тримач нижнього бункера відділення ПГ (А4) 6. Економічний ефект.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання: 11.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Характеристика господарства	11.03.25-11.04.25	
2	Аналіз актуальності проєкту	13.03.25-13.05.25	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.25-21.05.25	
4	Охорона праці	15.04.25-20.05.25	
5	Економічний	19.04.25-7.06.25	
6	Графічна частина	10.05.25-7.06.25	

Студент _____ Паровий А.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Золотовська О.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

№строк	Формат	Позначення	Найменування	Кільк. листів	Номер листа	Примітка
			Документація			
1	*А4*	*52.ДП.049.000.000.ПЗ*	*Розрахунково -*			
			пояснювальна записка	*68*		
2	*А1*	*52.ДП.049.000.001ТБ*	*Аналіз господарства*	*1*	*1*	
3	*А1*	*52.ДП.049.000.002ТХ*	*Технологічна схема*			
			модернізованого пристрою	*1*	*2*	
			Складальне креслення			
4	*А1*	*52.ДП.049.000.003.ВЗ*	*Вид загальний*	*1*	*3*	
5	*А4*	*52.ДП.049.000.004.СК*	*Нижній бункер камери від-*	*1*	*4*	
			ділення піролізного газу			
6	*А4*	*52.ДП.049.000.005.СК*	*Верхній бункер*	*1*	*4*	
7	*А4*	*52.ДП.049.000.006.СК*	*Завихрувач*	*1*	*4*	
8	*А4*	*52.ДП.049.000.007.СК*	*Газопровод для повернення*			
			ПГ в топку	*1*	*4*	
9	*А3*	*52.ДП.049.000.008.СК*	*Модернізована частина*			
			пристрою	*1*	*4*	
10	*А4*	*52.ДП.049.000.009.СК*	*Топка*	*1*	*4*	
11	*А4*	*52.ДП.049.000.010.СК*	*Тримач нижнього бункера*			
			відділення ПГ	*1*	*4*	
12	*А1*	*52.ДП.049.000.011.ТБ*	*Економічний ефект*	*1*	*7*	

					52.ДП.049.000.000.ПЗ
Зм.	*Лист*	*№ докум*	*Підпис*	*Дата*	
Розроб.		*Паровий А.В.*			*Відомості дипломного*
Перев.		*Золотовська О.В.*			

Літ	*Лист*	*Листів*
		68

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ 7

ВСТУП 8

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ АГРОФІРМИ 10

1.1 Загальна характеристика господарства 10

1.2 Характеристика енергетичної бази господарства 12

1.3 Зберігання паливо-мастильних матеріалів 14

1.4 Динаміка розвитку енергетичної бази підприємства 15

1.5 Аналіз рослинних відходів в господарстві 15

1.6 Потенціал відходів сільськогосподарських культур 18

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ 20

2.1 Використання відновлювальних джерел енергії 20

2.2 Оцінка теплового потенціалу 24

2.3 Обґрунтування конструкцій теплотехнічного обладнання 28

3 ТЕПЛОВИЙ ТА КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТУ 35

3.1 Основні фізико-хімічні та теплотехнічні властивості соломи 35

3.2 Розрахунок топкового пристрою шарового типу 39

3.3 Визначення годинної витрати палива 44

3.4 Конструктивний розрахунок 45

3.4.1 Визначення площі дзеркала горіння та площі колосникової решітки 45

3.4.2 Розрахунок товщини стінок топки, обичайки барабану та трубопроводів 46

3.4.3 Розрахунок допустимого тиску 50

3.4.4 Розрахунок допустимих напружень 51

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 53
4.1 Організація охорони праці в агрофірмі 53
4.2 Вимоги безпеки під час користування теплотехнічним обладнанням 54
4.2.1 Загальні вимоги безпеки 54
4.2.2 Вимоги до безпечного початку роботи 56
4.2.3 Вимоги безпеки під час експлуатації котлів 57
4.2.4 Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях 60
4.2.5 Вимоги безпеки після завершення роботи 61
4.3 Рекомендації щодо покращення охорони праці 62
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ 63
ВИСНОВКИ 69
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК 71

Анотація

Паровий А.В. Удосконалення пристрою для отримання газоподібного палива з рослинних решток/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Дипломний проект містить 72 сторінок пояснювальної записки і 5 сторінок графічної частини.

У першому розділі представлена характеристика господарства, проведено аналіз виробничої діяльності та обсягу рослинних відходів, визначено потенціал їх використання.

Другий присвячено огляду альтернативних джерел енергії, опису різних конструкцій установок для отримання газоподібного палива та обґрунтуванню вибору конкретної конструкції.

Третій розділ містить теплові та конструктивні розрахунки проектованого обладнання.

У четвертому розділі розглянуто організацію охорони праці на підприємстві, питання пожежної безпеки та санітарно-побутових умов, наведено вимоги з безпеки при експлуатації теплотехнічного устаткування, а також запропоновано заходи щодо покращення охорони праці в господарстві.

П’ятий розділ присвячений техніко-економічній оцінці запропонованих проектних рішень.

Вступ

Високі ціни на традиційні енергоносії і постійне підвищення вимог до охорони навколишнього середовища зумовлюють високий інтерес у виробників і споживачів теплової та електричної енергії, наукових організацій до використання в якості палива нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії, у тому числі біомаси.

Сьогодні в Україні пропадає дуже велика кількість потенційно дешевого біопалива з відходів сільського господарства (соломи, стебел соняшника, лузги і т. д.). В Європі з таких відходів вже давно виробляються паливні брикети (пеллети) для використання цього екологічно чистого палива з високою тепловіддачею для котелень та великих теплоенергетичних станцій.

Сучасні тенденції розвитку енергетики орієнтовані на зменшення залежності від викопного палива, підвищення енергоефективності та екологічної безпеки. В умовах зростання вартості традиційних енергоносіїв і загострення проблеми утилізації сільськогосподарських відходів особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії, зокрема рослинної біомаси.

Біомаса є доступним і екологічно чистим джерелом енергії, яке при правильній технологічній реалізації може забезпечити сталу альтернативу природному газу. Одним із перспективних напрямів енергетичного використання біомаси є газифікація – процес термічної переробки органічних відходів з утворенням горючого газу, придатного для обігріву, виробництва електроенергії або як компонент для синтезу інших палив.

Особливу цінність становлять малі та середні установки для отримання газоподібного палива, які можуть ефективно функціонувати в умовах

сільського господарства. Однак, більшість існуючих пристроїв мають низький коефіцієнт корисної дії, нерівномірність процесу піролізу та обмеження в обробці сировини з високою вологістю. Це вимагає проведення робіт з їх вдосконалення.

Мета даної дипломної роботи — розробка та обґрунтування конструктивно-режимних удосконалень пристрою для отримання газоподібного палива з рослинних решток з метою підвищення енергоефективності, стабільності процесу та розширення спектра використовуваної біосировини.

У роботі проаналізовано існуючі технології газифікації, розглянуто конструктивні схеми теплогенеруючих установок, виконано теплотехнічні розрахунки, запропоновано вдосконалення конструкції пристрою та оцінено економічну доцільність його впровадження. Запропоновані рішення можуть знайти практичне застосування у фермерських господарствах, агрофірмах та малих підприємствах для енергозабезпечення теплових процесів із мінімальним впливом на довкілля.

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ АГРОФІРМИ

1.1 Загальна характеристика господарства

Агрофірма розташована в селі Багате Новомосковського району Дніпропетровської області. Її спеціалізація вирощування сільськогосподарських культур, а саме пшениця, озима пшениця, кукурудза, соняшник, гречка.

Господарство знаходиться на території декількох сіл та поблизу них. Представництво господарства знаходиться на території села Багате. Більша частина потужностей та робочих місць, також знаходиться на території цього села, але деяка частина потужностей та робочих місць знаходиться в сусідньому селі Панасівка.

В селах на території яких господарство має землі і до районного центру дороги з покращеним покриттям, на решті територій дороги з ґрунтовим покриттям.

В селі Багате знаходиться офіс господарства, ремонтна майстерня, ТІК та перша тракторна бригада. В селі Панасівка знаходиться друга тракторна бригада. Вона більше орієнтована на виконування швидкого ремонту тракторів з усім необхідним обладнанням поблизу поля, тому що з більшості полів до першої тракторної бригади їхати значно довше ніж до другої. А перша тракторна бригада проводить ремонт більш високої складності. Тобто у разі необхідності мілкого ремонту трактора його доставлять в другу тракторну бригаду, а у разі якщо несправність дійсно серйозна трактор доставлять в першу тракторну бригаду. Ремонтні майстерні займаються ремонтом комбайнів, тракторів закордонного походження та оприскувачів.

На території села Багате згідно перепису населення 2001 року проживало 662. Зараз кількість населення не зазнала особливих змін. В той час як агрофірма надає близько 320 робочих місць.

Зараз господарство має 4540 га орної землі. З яких вони зібрали в 2024 році такий врожай:

Таблиця 1.1

Зібрано врожаю в 2022 році

Культура	Площа, га	Урожайність, ц/га	Зібрано врожаю, ц
Озима пшениця	2400	69	165600
Яровий ячмінь	400	35	14000
Кукурудза на зерно	600	74	44400
Соняшник	1100	36	39600
Гречка	40	15	600

Таблиця 1.2

Зібрано врожаю в 2023 році

Культура	Площа, га	Урожайність, ц/га	Зібрано врожаю, ц
Озима пшениця	2300	70	161000
Яровий ячмінь	350	35	12250
Кукурудза на зерно	550	75	41250
Соняшник	1300	37	48100

Гречка	4	15	600

Таблиця 1.3

Зібрано врожаю в 2024 році

Культура	Площа, га	Урожайність, ц/га	Зібрано врожаю, ц
Озима пшениця	2500	72	180000
Яровий ячмінь	300	36	10800
Кукурудза на зерно	500	78	39000
Соняшник	1200	37	44400
Гречка	40	15	600

1.2 Характеристика енергетичної бази господарства

Механізація в сільському господарстві має велике значення для народного господарства, оскільки дозволяє звільнити людину від важкої та виснажливої праці, підвищити ефективність роботи, що, у свою чергу, сприяє зменшенню собівартості продукції та скороченню строків виконання робіт. Підвищення рівня сільськогосподарського виробництва нерозривно пов’язане з процесом механізації – впровадженням новітніх науково-технічних досягнень, освоєнням сучасних технологій, подальшою інтенсифікацією агровиробництва, розвитком меліораційних заходів та хімізацією сільського господарства. Саме тому технічні засоби, як найважливіша й найактивніша складова виробничих ресурсів, відіграють ключову роль у створенні матеріально-технічної бази аграрного сектору.

В галузі рослинництва господарства, механізація знаходиться на досить високому рівні, про це свідчать дані наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4

Аналіз рівня механізації в галузі рослинництва, %

Найменування робіт	%
Сівба культур	98
Формування густоти рослин	98
Скошування рослин	100
Завантажувальні роботи	97
Прополювальні роботи	88
Внесення добрив	93

Для того, щоб проаналізувати забезпеченість господарства технікою необхідно розглянути весь комплекс сільськогосподарських машин господарства, кількість найменування наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Аналіз машино - тракторного парку на 2022 рік

Найменування машин	Кількість, шт.
1	2
Т-150К	3
Т-150	2
МТЗ-82	8
Т-156	1
ЮМЗ-6Л	4
МТЗ-80	2
Т-40	1
John Deere 7030	5
Оприскувачі **Massey Ferguson**	4

Плуги трикорпусні	8
Плоскорізи-розпушувачі	4

Продовження таблиці 1.5

1	2
Лущильники дискові широкозахватні	2
Борони зубові	120
Культиватори просапні КРН-5,6	6
Сівалки зернові Червона Зірка Astra 3,6	4
Сівалки зернові Червона Зірка Astra 5,4	1
Сівалки **Massey Ferguson MF 555**	3
Комбайни «Claas Lexion 670»	9
Розкидач мінеральних добрив РУМ	2
Дискові борони Massey Ferguson Challenger 1500	3
Телескопічний навантажувач **Massey Ferguson**	4

1.3 Зберігання паливо-мастильних матеріалів

Зберігання паливно-мастильних матеріалів проводиться на нафтосховищі, яке одночасно є заправним пунктом машин. Всього нафтосховище може утримувати близько 100 тонн пального та 5 тонн масла. У нафтосховищі є пункти пожежогасіння. Також 2 колонки на дизельне паливо, 1 на бензин та 1 на мастило.

На відпрацьоване мастило є також резервуар, який встановлено поблизу бочки з мастилом, воно використовується у гідравліці тракторів.

Щороку спеціалізована бригада проводить технічне обслуговування паливних ємкостей і заправних колонок, а також очищення резервуарів від осаду. Осад після очищення змивається у спеціальну ємність, розташовану на території нафтосховища. Заправка тракторів та автомобілів у господарстві здійснюється згідно з установленим порядком: кожному водієві або трактористу видається шляховий лист, у якому бригадир чи головний інженер вказують добовий обсяг пального. Для кожного транспортного засобу ведеться індивідуальна лімітно-забірна картка, де щоденно фіксується кількість виданих паливно-мастильних матеріалів.

У зв'язку з високою вартістю пального, за його витратами встановлено суворий контроль, який здійснює відповідальний обліковець. У разі безпідставної перевитрати паливно-мастильних матеріалів відповідальність покладається на водія або тракториста, за яким закріплена техніка.

1.4 Динаміка розвитку енергетичної бази підприємства

Останні декілька років агрофірма розвивала свою енергетичну базу , але не дуже швидко, тому що для агрофірми такого об'єму вона уже має дуже хорошу енергетичну базу. За останні 5 років вони купили 5 сівалок Massey Ferguson з шириною захвату 12 метрів, 3 трактори John Deere, широкозахватну дискову борону та 2 телескопічних навантажувача.

1.5 Аналіз рослинних відходів в господарстві

Сьогодні в Україні втрачається велика кількість потенційно дешевого біопалива з відходів сільського господарства (солома, лушпиння та інші). В Європі з таких відходів вже давно виробляють паливні брикети (пелети) для використання цього екологічно чистого палива з високою тепловіддачею для котелень і великих ТЕС.

Для того щоб оцінити кількість пожнивних залишків злакових культур, скористаємося статистичними даними офіційних міністерств по валовому збору врожаю. У цьому випадку кількість пожнивних залишків злакових культур знаходиться з формули:

$$Б_{від} = Б_{зер} \cdot К_{від} \tag{1.1}$$

де $Б_{від}$ – кількість пожнивних залишків злакових культур; $Б_{зер}$ – кількість зерна; $К_{від}$ – коефіцієнт відходів.

Коефіцієнт відходів є безрозмірною величиною і визначає вихід соломи або стебел рослин в залежності від кількості зерна.

У сільському господарстві солома ячменю, пшениці і вівса застосовується для утримання худоби, а пожнивні залишки ріпаку, гречки не використовуються в тваринництві. Виходячи з цього для оцінки обсягу відходів, які можуть використовуватися як паливо, застосовується коефіцієнт енергетичного використання рослинних відходів $К_{ен}$. Оскільки в процесі збору та транспортування неминучі втрати, введемо коефіцієнт втрат $К_{п}$. Отже, ми можемо отримати вираз для визначення відходів доступних для виробництва енергії:

$$Б_{ен} = Б_{зер} \cdot К_{від} \cdot (1 - К_{в}) \cdot К_{ен} \tag{1.2}$$

В результаті обробки статистичних даних щодо валового збору зерна і соломи в різних областях України були визначені коефіцієнти $К_{від}$, $К_{п}$, $К_{ен}$. В таблиці 1.4 приведені значення вказаних коефіцієнтів.

Щоб розрахувати кількість рослинних відходів за формулою вказаною вище, були використані офіційні дані за валовим збором зерна. Результати обстеження наведені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Коефіцієнти основних рослинних решток

№	Назва культури та відходів	Коефіцієнти		
		відходів, $К_{від}$	втрат, $К_{в}$	енергетичного використання, $К_{ен}$
1	2	3	4	5
1	Солома зернових та зернобобових	1	0,1	0,7
2	Кукурудза (стебла)	1,2	0,25	1
3	Соняшник (стебла)	3,5	0,3	1
4	Соняшник (лушпиння)	0,18	0,1	1

Таблиця 1.7

Кількість основних рослинних відходів в 2022

№	Назва культури та відходів	Зібрано врожаю, ц	Рослинних відходів, ц
1	Зернові та зернобобові (солома)	179600	179600
2	Кукурудза (стебла)	44400	53280
3	Соняшник (стебла)	39600	138600
4	Соняшник (лушпиння)	39600	7128

Таблиця 1.8

Кількість основних рослинних відходів в 2023

№	Назва культури та відходів	Зібрано врожаю, ц	Рослинних відходів, ц
1	Зернові та зернобобові (солома)	173250	173250
2	Кукурудза (стебла)	39000	46800

3	Соняшник (стебла)	41250	144375
4	Соняшник (лушпиння)	41250	7425

Таблиця 1.9

Кількість основних рослинних відходів в 2024

№	Назва культури та відходів	Зібрано врожаю, ц	Рослинних відходів, ц
1	2	3	4
1	Зернові та зернобобові (солома)	190800	190800
2	Кукурудза (стебла)	39000	46800
3	Соняшник (стебла)	44400	155400
4	Соняшник (лушпиння)	44400	7992

1.6 Потенціал відходів сільськогосподарських культур

Енергетичний потенціал рослинних відходів сільськогосподарського виробництва можна визначити з виразу:

$$P_{ен} = \frac{Б_{ен} \cdot Q_н^р}{7000}, \text{ кг у. п.} \quad (1.3)$$

де $Q_н^р$ - нижча теплота згоряння робочого палива з рослинних відходів, ккал / кг; 7000 ккал - теплотворна здатність 1 кг умовного палива. Так як залежить від вологості відходів, то значення приймалися за літературними даними для повітряно-сухих відходів вологістю 18-20%. Солома зернових і зернобобових культур = 3000 ккал/кг; стебла кукурудзи - 3270; стебла соняшнику - 3200; лузга соняшника - 3750 ккал / кг. результати розрахунку енергетичного потенціалу представлені в таблиці 1.6.

Таблиця 1.10

Кількість умовного палива

Рік	Кількість умовного палива, т. у. п.				
	Зернові та зернобобові	Кукурудза	Соняшник		Всього
			стебла	лушпиння	
2021	48492	18667	44352	3437	114948
2023	46778	16397	46200	3580	112955
2024	51516	16397	49728	3853	121494

Висновок

Основним напрямком діяльності ТОВ Агрофірма «Дружба» є рослинництво. Підприємство має дуже великі площі для посіву, а саме 4540 га. З аналізу посівних площ видно, що основними культурами озима пшениця та соняшник, які складають 55 та 26,43% відповідно від посівних площ. Навіть без розрахунків було зрозуміло, що кількість відходів у підприємства дуже значна.

Проаналізувавши кількість рослинних відходів на підприємстві, які нікуди не використовуються можна зробити висновок, що більш доцільною була б переробка рослинних відходів в газоподібне паливо, яке потім можна було б використовувати для виробництва електроенергії для підприємства або як замінник природного палива. З економічної точки зору це є більш вигідним.

Отже використання газогенератору піролізного типу є актуальним питанням для підприємства «Дружба».

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

2.1 Використання відновлювальних джерел енергії

Впровадження сучасних технологій у сільській місцевості дозволяє комплексно вирішувати низку актуальних проблем. Зокрема, це сприяє ефективній утилізації органічних відходів, забезпечує альтернативні джерела енергії, знижує енергоспоживання та сприяє збереженню ресурсів. Крім того, використання біогазових технологій позитивно впливає на агроекосистему, підвищуючи родючість ґрунтів і, відповідно, урожайність сільськогосподарських культур. Це, своєю чергою, покращує економічні показники господарства, підвищує рентабельність встановленого обладнання та скорочує терміни його окупності.

Біогазова установка є невід’ємним елементом сучасного безвідходного виробництва в аграрному секторі та харчовій промисловості. Її ключовою складовою є біореактор, до конструкції якого висуваються суворі технічні вимоги. Корпус повинен бути міцним, герметичним, з високим рівнем теплоізоляції та стійкістю до корозійного впливу. Також конструкція має забезпечувати можливість завантаження і вивантаження субстрату, а також доступ до внутрішніх елементів установки з метою її обслуговування.

Технологічний процес роботи установки передбачає кілька послідовних етапів (рис. 2.2). Органічна сировина (субстрат), що надходить із тваринницьких приміщень, спочатку потрапляє до ємності попередньої підготовки (1). Далі, за допомогою фекального насоса, субстрат циркулює по замкненому контуру та проходить через деструктор (2), в якому реалізується кавітаційний ефект.

У деструкторі створюються умови для спрямованої кавітації, що забезпечує руйнування молекулярних зв'язків органічних речовин. У результаті відбувається подрібнення частинок і підвищення дисперсності сировини, що значно полегшує подальше зброджування. Завдяки цьому бактерії, які беруть участь у біохімічному процесі утворення біогазу, отримують кращий доступ до субстрату, що прискорює процес розкладу органічної маси.

Після попередньої обробки сировина надходить до реактора попереднього бродіння (3), де впродовж 2–3 діб відбувається перший етап анаеробного зброджування без додаткового підігріву, що дозволяє знизити енерговитрати. Далі субстрат надходить до основного метантенка (4), у якому здійснюється повне зброджування з утворенням біогазу.

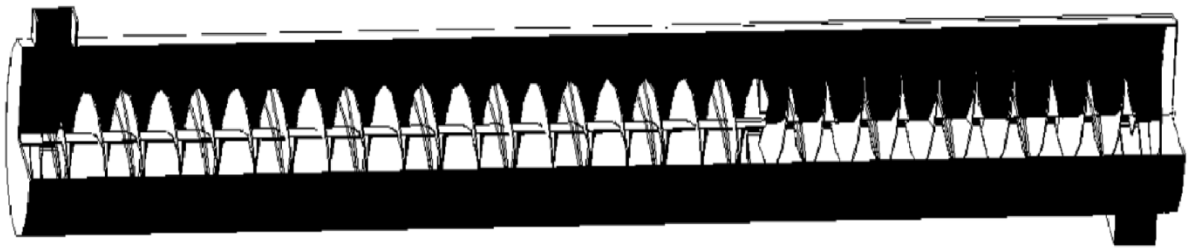

Рисунок 2.1. Спіральний перемішуючий пристрій.

Використання спірального перемішуючого пристрою обумовлено високою в’язкістю субстрату, а також значною довжиною реактора. За таких умов ефективність інших типів мішалок є недостатньою, що ускладнює рівномірне перемішування біомаси та транспортну функцію пристрою. Спіральна конструкція забезпечує рівномірне переміщення субстрату вздовж усього об'єму метантенка, що сприяє стабільному анаеробному процесу.

У результаті процесу зброджування утворюється біогаз, який накопичується в газгольдері, а звідти транспортується до кінцевого споживача. Для досягнення оптимальної температури процесу та підтримання

необхідного теплового режиму в метантенку, використовується теплообмінник, через який циркулює гаряча вода, нагріта в котельному агрегаті.

Після завершення процесу зброджування перебродженний субстрат (дигестат) вивантажується до гноєсховища (позиція 5), звідки згодом використовується як органічне добриво на сільськогосподарських угіддях.

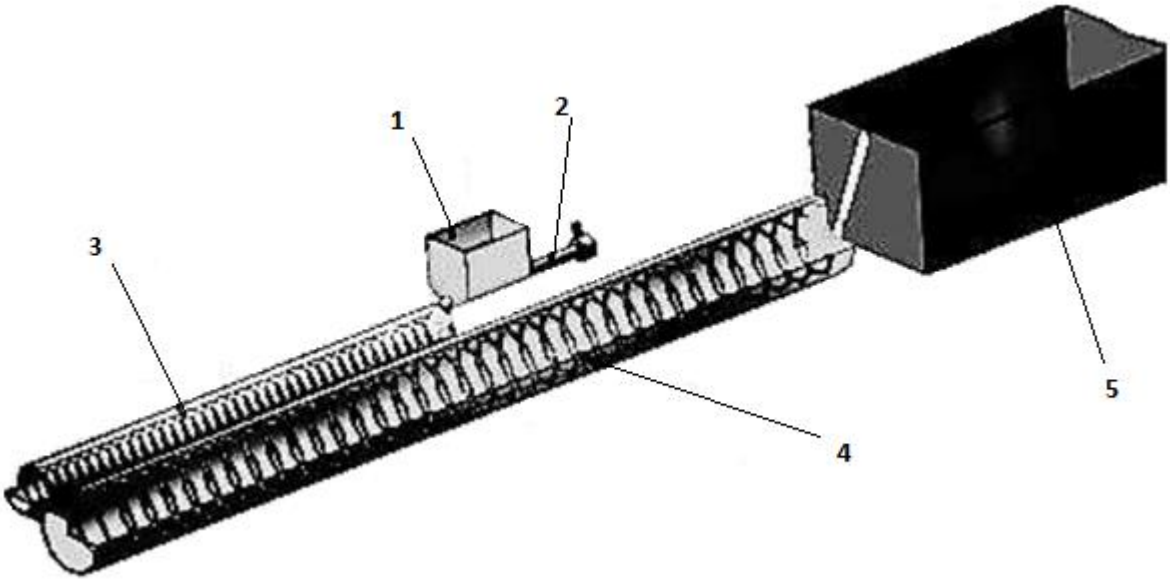

Рисунок 2.2. Біогазова установка.

Біогаз є універсальним джерелом енергії, який успішно використовується як паливо. Його можна застосовувати для спалювання в пальниках опалювального обладнання, водогрійних котлів, газових плит, а також у холодильних установках абсорбційного типу та в системах інфрачервоного нагріву. Біогаз також придатний для використання в автотракторних двигунах — як у газовому циклі Отто (з іскровим запалюванням), так і в газодизельному (з частковим упорскуванням дизельного палива). При цьому карбюраторні двигуни можуть бути легко переобладнані на роботу з біогазом шляхом встановлення газового змішувача замість карбюратора.

Крім отримання палива, процес метанового зброджування гною має додаткові агрономічні переваги: він забезпечує знезараження субстрату,

знищення насіння бур’янів, дезодорацію і перехід поживних речовин (азоту, фосфору, калію) у мінеральну форму, яка є легкозасвоюваною для рослин. При цьому втрата макроелементів практично відсутня.

Для ефективного перебігу процесу анаеробного бродіння необхідне підтримання слабколужного середовища (pH у межах 6,7...7,6). Також важливо забезпечити достатню вологість субстрату, оскільки мікроорганізми можуть переробляти лише розчинені органічні речовини. У разі використання твердих відходів до них додається вода для створення оптимального середовища.

Центральним елементом біогазової установки є біореактор — герметичний, теплоізольований резервуар, у якому підтримується стабільна температура, необхідна для життєдіяльності мікроорганізмів. Для підігріву використовують систему труб з гарячою водою, розміщену вздовж внутрішніх стінок біореактора.

Біогазова установка дозволяє отримувати декілька видів товарної продукції:

- теплову енергію — за рахунок спалювання біогазу;
- електричну енергію — 1 м³ біогазу забезпечує виробництво 2–3 кВт електроенергії;
- паливо для транспорту;
- органічні добрива високої якості — екологічно чисті, без вмісту нітратів, бур’янів та патогенних мікроорганізмів. Їх ефективність дозволяє скоротити витрати в 10–20 разів у порівнянні з необробленим гноєм при підвищенні врожайності на 30–40%.

Таким чином, біогазові установки не лише сприяють енергетичній незалежності сільського господарства, а й вирішують екологічні проблеми — зменшують викиди метану в атмосферу та скорочують використання хімічних добрив.

Однак, існують і певні обмеження: для ефективного функціонування установки необхідна значна кількість органічної сировини, зокрема гною великої рогатої худоби, який міг би використовуватися у вигляді традиційного добрива. Це обумовлює доцільність впровадження таких технологій переважно у великих господарствах з достатньою кількістю сировини.

2.2 Оцінка теплового потенціалу

У контексті ефективного використання не зернової частини врожаю злакових культур доцільно розглядати два основні напрями. Перший полягає у виробництві твердого біопалива — паливних брикетів або пелет. Такий підхід дозволяє агропромисловим підприємствам уникнути екологічної відповідальності за спалювання залишків рослинності на полях, створити нові робочі місця та отримати додаткові джерела прибутку. Біоенергетика в цьому випадку розглядається як реальна альтернатива традиційному вуглеводневому паливу, з можливістю його застосування у виробництві теплової та електричної енергії, а також у транспортному секторі. Крім того, це відкриває перспективи виходу на європейські ринки біопалива, виготовленого з місцевих агровідходів. Наприклад, на пункті доставки Ягодин, розташованому на кордоні з Польщею, вартість брикетів із соломи сягає 100 євро за тонну при середній собівартості їх виробництва на рівні 50–55 євро за тонну.

Другий напрям — це використання соломи в рулонах або тюках безпосередньо як палива для виробництва теплової або електричної енергії в генераційних установках, розміщених поблизу полів вирощування зернових культур, фермерських господарств, аграрних підприємств або об’єктів соціально-побутової інфраструктури. Провідною країною у впровадженні такої практики є Данія. За останні роки середньорічний обсяг зібраної соломи в цій країні становить не менше 6,3 млн тонн. З цього обсягу 12,5% використовується для енергетичних потреб: 7,2% — у фермерських котлах,

4,2% — на теплових станціях, 1,1% — на електростанціях. Близько 36,5% йде на потреби тваринництва — для підстилки та корму, а надлишок, що становить майже 48%, вважається потенційним резервом для подальшого розширення біоенергетики.

Таким чином, використання соломи як енергетичної сировини має високий потенціал не лише в контексті енергозабезпечення, а й з погляду екологічної та економічної ефективності аграрного виробництва.

Таблиця 2.1

Використання соломи для спалювання в енергетичних цілях (Данія)

Установки та станції	Кількість установок (станцій)	Річне споживання соломи	
		Тис. т	МДж
1	2	3	4
Фермерські установки (0,1…1,0 МВт)	8000	400	6,4
Теплові станції (1…10МВт)	67	320	4,3
Станції комбінованого виробництва тепла та електроенергії	15	390	6,7
Всього		1110	17,4

Теплотворна солома (вологість не більше 20%) - 4 кВт/кг або 3440 ккал/кг. Теплотворною здатністю або теплопровідністю палива називається та кількість теплоти, яку дає одна вагова одиниця цього палива при своєму горінні.

Відношення об’ємів та теплотворної здатності палива:

З 1 $м^3$ газу отримуємо 10 кВт тепла.

З 1 л дизельного палива отримуємо 10 кВт тепла.

10 кВт – це 2,5 кг соломи вологістю 20%, 1 м³ березових дров, 0,75 м³ дубових, 1,1 м³ вільхи, 1,2 м³ соснових, 1,3 м³ ялинових, 1,5 м³ осикових.

У таблиці 2.2 наведені типові характеристики соломи в порівнянні з характеристиками вугілля і природного газу.

Таблиці 2.2

Порівняльні фізико-хімічні властивості вуглеводневої сировини

Характеристика	Жовта солома	Сіра солома	Вугілля	Природний газ
1	2	3	4	5
Вологість, %	15	15	12	0,0
Склад палива, %:				
Попіл	4	3	12	0,0
Вуглець	42	43	59	75
Кисень	37	38	7,3	0,9
Водень	5,0	5,2	3,5	24
Хлор	0,75	0,2	0,08	-
Азот	0,35	0,41	1,0	0,9
Сірка	0,16	0,13	0,8	0,0
Летучі компоненти	70	73	25	100
Теплота згорання, МДж/кг:				
Фактична	14,4	15	25	48
Сухої сировини без попелу	18,2	18,7	32	48
Температура попелу, °С:				
Початку деформації	950	1100	1175	-
Розм’якшення	1050	1150	1225	-
Рідкопаливного стану	1150	1250	1275	-

Солома є універсальним джерелом енергії, яке може бути ефективно використане для отримання гарячого повітря, гарячої води, пари та електроенергії. Застосування соломи як палива має низку важливих переваг:

- висока теплова ефективність — завдяки значному вмісту органічних речовин солома забезпечує стабільну теплову віддачу;
- екологічна безпечність — солома є CO_2-нейтральним видом палива, оскільки кількість вуглекислого газу, що виділяється при її спалюванні, дорівнює тій, яка поглинається рослиною в процесі росту;
- відновлюваність ресурсу — щорічне відновлення соломи як побічного продукту сільськогосподарського виробництва забезпечує її сталу доступність;
- економічна доцільність — солома є недорогим ресурсом, що не потребує суттєвих витрат на видобуток чи переробку, оскільки утворюється під час збору зернових культур;
- простота зберігання — у порівнянні з рідким чи газоподібним паливом, солома не потребує складних умов зберігання;
- широкий спектр застосування — солома може бути використана як у малих фермерських господарствах, так і в масштабних енергетичних об'єктах.

Однак, при використанні соломи як палива існує одна суттєва проблема — вміст хлору, який у процесі спалювання утворює агресивні сполуки, що спричиняють корозію теплообмінного обладнання. Особливо високий вміст хлоридів характерний для свіжозібраної соломи («жовта» солома), де його концентрація у 3–4 рази перевищує рівень у зів'ялій («сірій») соломі. Для зменшення вмісту хлоридів рекомендовано попереднє природне вилежування соломи протягом 5–7 днів, що дозволяє суттєво знизити агресивність палива під час його спалювання.

Таким чином, солома є перспективним видом біопалива з екологічними та економічними перевагами, за умови врахування технологічних особливостей її підготовки до використання.

2.3 Обґрунтування конструкцій теплотехнічного обладнання

На даний момент у світі існує велика кількість різних варіацій теплотехнічного обладнання. І кожна людина може обрати те теплотехнічне обладнання, яке найкраще підходить конкретно під його умови.

Як і для більшості людей, для нас найважливішими критеріями є економічна вигода та надійність. Так як, з кожним роком ціни на природний газ сильно зростають, тому звичайні газові котли розглядати не доцільно.

Найбільша економічна вигода спостерігається в умовах використання дешевих та легко відновлюваних джерел енергії. В умовах агрофірми «Дружба» найкращим варіантом є використання рослинних відходів у якості джерела енергії.

В умовах використання рослинних відходів у якості джерела енергії найкраще себе зарекомендували піролізні котлоагрегати.

Розглянемо конструкції деяких з них:

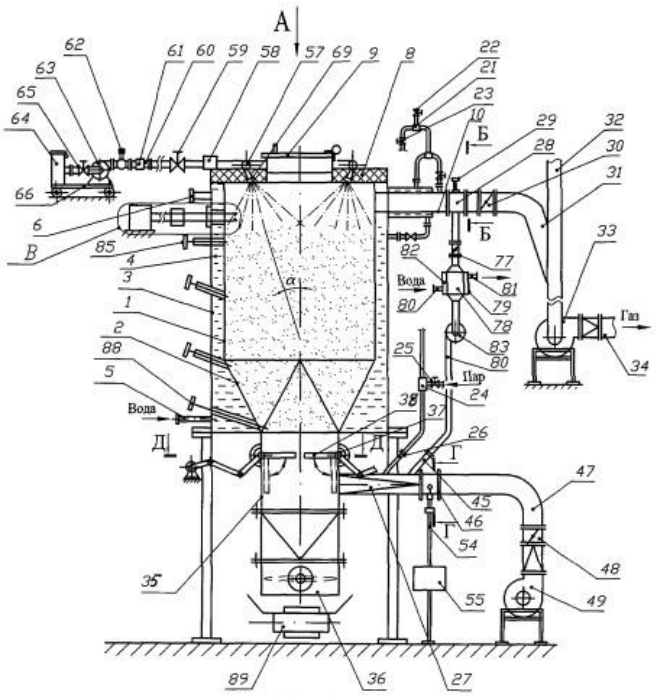

Рисунок 2.3. Конструкція теплогенератора.

Теплогенераторна установка містить корпус теплогенератора, виконаний з двох частин, верхньої у вигляді циліндричної обичайки 1 і нижньої у вигляді порожнистого конуса-перехідника 2 з кожухом 3, простір 4 між його внутрішньою поверхнею і зовнішньою поверхнею корпусу заповнено проточною охолоджуючою водою, внизу і вгорі кожуха 3 виконані отвори для вхідного 5 і вихідних штуцерів 6, 7 подачі води, у верхній частині кожуха 3 і корпусу газогенератора під кришкою 8 із завантажувальним люком 9, футерованих зсередини, виконано прямокутний отвір, в якому встановлений патрубок відводу генерованого газу у вигляді конфузора-перехідника 10 з кожухом 11 на 2/3-3/4 поверхні конфузора-перехідника 10, простір 12 між внутрішньою поверхнею кожуха 11 і зовнішньою поверхнею конфузора-перехідника 10 заповнено проточною охолоджуючої водою, вгорі і внизу кожуха 11 виконані отвори для вхідного 13 штуцера подачі води, з'єднаного через трубопровід 14, вентиль 15 з вихідним штуцером 7, і вихідним 16 штуцером подачі води/пари, з'єднаного через трубопровід 17, трійник 18 з вентилем 19 з штуцером 20 подачі води/пари в конфузор-перехідник 10, в кінцевій частині якого виконано для цього отвори, причому вихідний штуцер

16 кожуха 11 конфузора-перехідника 10 одночасно з'єднаний через трубопровід 17, трійник 18, трійник 21 з вентилем 22, вентиль 23, трійник 24 з вентилем 25 подачі пари від зовнішнього джерела пара зі штуцером 26 подачі пари в патрубок подачі повітря у вигляді дифузора-перехідника 27, конфузор-перехідник 10 послідовно з'єднаний з газохідним трійником 28 та термодатчиком 29, дросельною заслінкою 30, газоходом 31, газовим колектором 32, витяжним вентилятором 33 з газовою магістраллю 34, в низу конуса-перехідника 2 газогенератора розташований розвантажувальний 35 із затвором 36 патрубок, всередині якого встановлена на шарнірах 37, закріплених у стінках розвантажувального патрубка 35, колосникова решітка у вигляді двох рівних частин 38 з важелями 39, з'єднаними через шарнірні зв'язки 40 з електроприводами 41, на зовнішній поверхні з боків розвантажувального патрубка 35 симетрично, жорстко закріплені дві дуги 42 з отворами 43 для фіксації важелями 39 закритого положення частин 38 колосникової решітки за допомогою стрижнів 44 з головками, внизу розвантажувального патрубка 35 виконано прямокутний отвір, в якому встановлений дифузор-перехідник 27 з штуцером 26 підведення води/пари і патрубком подачі 45 охолоджуючого газу, дифузор-перехідник 27 послідовно з'єднаний з блоком озонування 46, з повітропроводом 47, дросельною заслінкою 48 і вентилятором 49, причому блок озонування 46 виконаний у вигляді обичайки 50 з отвором для введення електродів 51 озонування з електроізоляцією 52 в поперечний переріз обичайки 50, електроди 51 закріплені в електроізоляційній пластині 53, прикріпленій до обичайки 50, і послідовно з'єднані з коробкою сполучною 54, високовольтними кабелями 55 і джерелом 56, в кришці 8 газогенератора виконано симетрично 6-8 отворів, на її зовнішній поверхні встановлений паливний розподільник 57, з'єднаний послідовно з роз'ємною муфтою 58, вентилем 59, паливним трубопроводом 60, датчиком 61 витрати палива і клапаном регулювання 62 витрати палива, насосом 63 з паливною ємністю 64 з вентилем 65, встановлених на візку 66,

причому паливний розподільник 57 виконаний у вигляді кільцеподібної труби 67 з вхідним патрубком 68, в нижній частині якої симетрично виконані отвори, в які жорстко встановлені під кутом 45°-75° до вертикальної осі газогенератора форсунки 69 розбризкування палива, що входять в отвори кришки 8, в циліндричній обичайці 1 корпусу і кожуха 4 газогенератора виконано наскрізний отвір, в який встановлений патрубок 70 для запального блоку, виконаного з послідовно з'єднаних запальних електродів 71 з електротермоізоляцією 72, закріплених на термоелектроізоляційній пластині 73, прикріпленій до кожуха 4, сполучної коробки 74, високовольтних кабелів 75 і джерела 76, конфузор-перехідник 10 через газохідний трійник 28 з термодатчиком 29 і дросельну заслінку 77 з'єднаний теплообмінником 78 з кожухом 79 з вхідним 80 і вихідним 81 штуцерами для води, простір 82 між теплообмінником 78 і кожухом 79 заповнено охолоджуючою проточною водою, в нижній частині теплообмінника 78 встановлений витяжний вентилятор 83 з газоходом 84, сполученим з патрубком 45 подачі охолоджуючого газу дифузора-перехідника 27, на чотирьох рівнях по висоті в теплогенераторі встановлені термодатчики 85, 86, 87, 88, охолоджені тверді продукти газифікації палива вивантажуються через розвантажувальний патрубок 35 і затвор 36 на транспортер 89.

До переваг цього теплогенератора можна віднести:

- високу якість контролю газифікації сировини;
- управління газифікацією сировини на будь якому етапі.

До недоліків цього теплогенератору можна віднести:

- дуже громіздка конструкція;
- висока балансова вартість;
- нижча надійність конструкції порівняно з більш простими теплогенераторами.

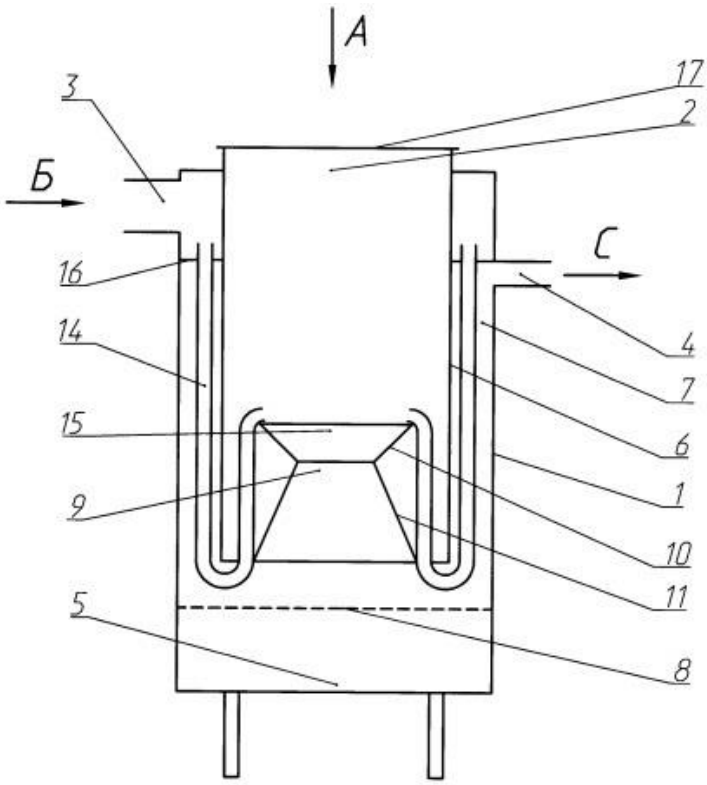

Рисунок 2.4. Теплогенератор.

Теплогенератор включає в себе циліндричний корпус 1 з верхнім отвором 2 для завантаження вуглецевмісної маси, отворами подачі повітря 3 і виходу піролізного газу 4, отвором для видалення золи 5, внутрішню оболонку 6, розміщену співвісно циліндричному корпусу 1 і утворюючу з останнім кільцевий канал 7, який пов'язаний з отвором для виходу газів 4. Генератор містить також колосникову решітку 8, встановлену в нижній частині корпусу 1, реактор 9, виконаний у вигляді усічених конічних поверхонь 10 і 11, сполучених між собою вершинами, повітроводи 14, аеродинамічно з'єднують отвір подачі повітря 3 з вхідним отвором 15 реактора 9, закріпленого співвісно корпусу 1 в його середній частині. При цьому отвір подачі повітря 3 розміщений над отвором виходу піролізного газу 4 і відділений від останнього заглушкою 16, встановленою в кільцевому каналі 7, а повітропровід 14 виконаний у вигляді набору повітропровідних труб, радіально розміщених у порожнині кільцевого каналу 7 і закріплених в районі отвору подачі повітря 3 на заглушці 16. У представленому варіанті повітроводи виконані з труб J-

образного виду. Верхній отвір 2 для завантаження вуглецевмісної маси закритий заглушкою 17.

До переваг цього теплогенератору можна віднести:

- менші розміри порівняно з більш складними газогенераторами;
- менша вартість порівняно з більш складними газогенераторами;
- більша надійність конструкції;

До недоліків цього теплогенератору можна віднести:

- низька якість контролю та управління газифікації сировини;
- нижча якість піролізного газу порівняно з більш складними теплогенераторами;
- низька теплотворна здатність піролізного газу.

В умовах агрофірми «Дружба» контроль та управління газифікацією не є великою проблемою. Тому для них єдиною проблемою яка може заважати у використанні теплогенераторної установки представленої на рисунку 2.4 нижча якість піролізного газу.

Тому в дипломному проекті необхідно виконати модернізацію установки (рисунок 2.4) для підвищення теплотворної здатності, тобто збільшення теплоти згоряння піролізного газу. Для цього виконаємо частковий відбір піролізного газу, який йде до споживача, та повернемо його в топкову камеру. Таким чином збагачується газ, тим самим і збільшується теплота згоряння (розрахунки наведені в розділі 3).

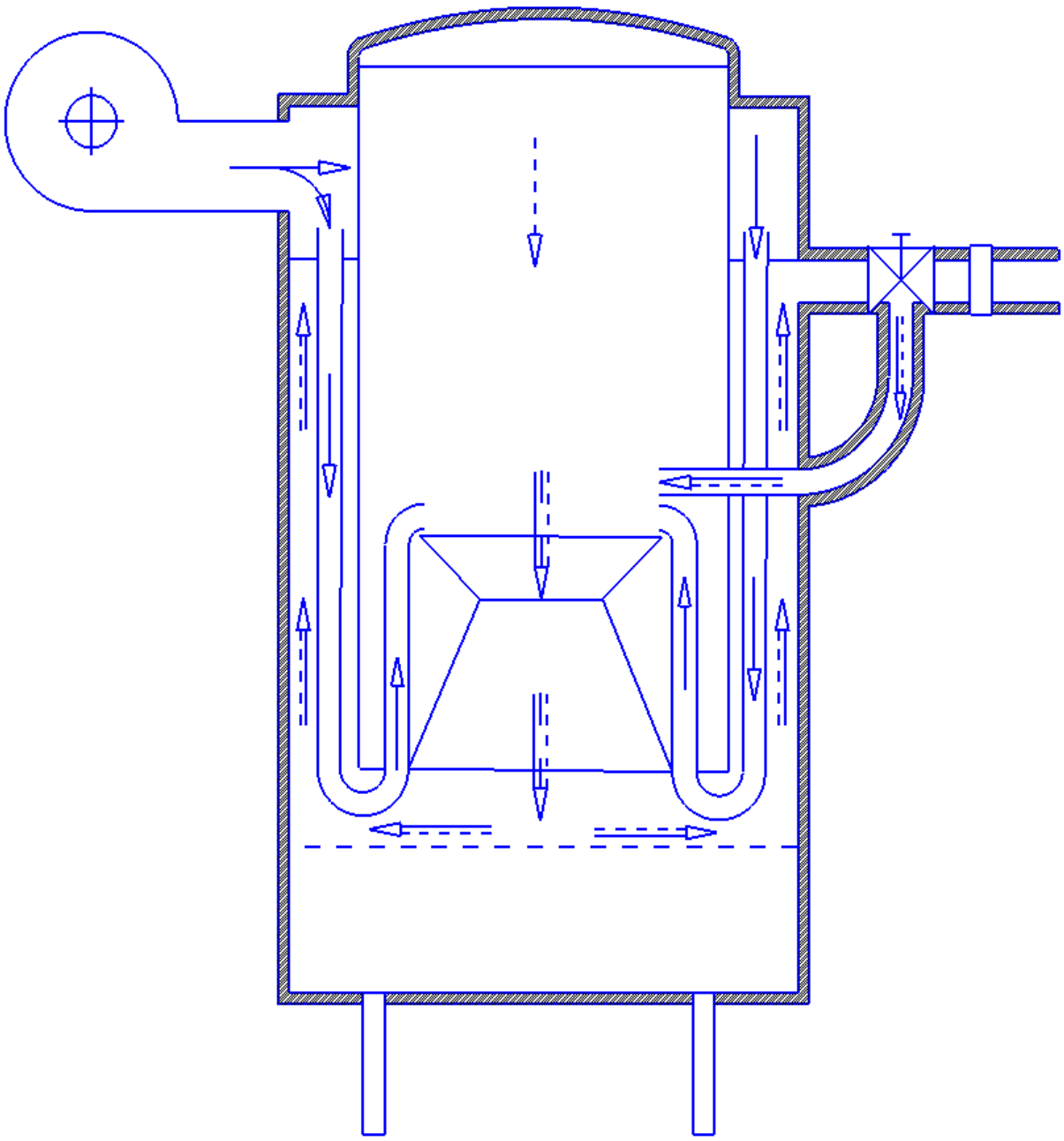

Рисунок 2.5. Теплогенераторна установка в модернізованому вигляді.

Тому використання саме цієї теплогенераторної установки у модернізованому вигляді є найбільш доцільним для агрофірми «Дружба».

Висновки

У світі щодня нарощують темпи використання соломи як біопалива, в альтернативну енергетику вкладаються великі інвестиції. Солома є чудовим джерелом енергії, для порівняння:

З 1 м^3 газу отримуємо 10 кВт тепла;

З 1 л дизельного палива отримуємо 10 кВт тепла;

З 1 м^3 березових дров, 0,75 м^3 дубових, 1,1 м^3 вільхи, 1,2 м^3 соснових, 1,3 м^3 ялинових чи 1,5 м^3 осикових отримуємо 10 кВт тепла;

10 кВт – це 2,5 кг соломи вологістю 20%.

При цьому теплота згоряння соломи 15 $\frac{МДж}{кг}$, що є хорошим показником, а за рахунок модернізації теплогенератору теплота згоряння буде підвищена.

3 ТЕПЛОВИЙ ТА КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗРАХУНОК ПРОЕКТУ

3.1 Основні фізико-хімічні та теплотехнічні властивості соломи

Останнього часу як в країнах Європи, так і в країнах СНГ набирає все більшої популярності термін рослинної біомаси, яку можна використовувати у якості палива.

З всього різноманіття рослинної біомаси слід виділити солому зернових та зернобобових, стебла кукурудзи, стебла соняшника, лушпиння соняшника.

Вологість біомаси – це кількісна характеристика, яка показує вміст в біомасі вологи.

Абсолютною вологістю називають відношення ваги вологи до ваги сухої біомаси:

$$W_a = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100, \tag{3.1}$$

де W_a – абсолютна вологість, %;

m – вага зразка в вологому стані, г;

m_0 – вага того ж зразка, висушеного до постійного значення, г.

Розрахунок абсолютної вологості брикетів соломи:

$$W_a = \frac{1 - 0,94}{0,94} \cdot 100 = 6,4\%$$

Відносною чи робочою вологістю називають відношення ваги вологи до ваги вологої біомаси:

$$W^p = \frac{m - m_0}{m} \cdot 100, \tag{3.2}$$

де W^{p} – відносна чи робоча вологість, %.

Відносна вологість брикетів соломи:

$$W^p = \frac{1 - 0,94}{1} \cdot 100 = 6\,\%$$

Під зольністю палива розуміють частку мінеральних залишків, що утворюються у процесі повного згоряння горючої маси

При лабораторному аналізі зольність зазвичай визначають по відношенню до абсолютно сухої маси палива. Для переведення зольності на робочу масу (з урахуванням вологи), застосовується така формула:

$$A^p = A^c \cdot (\frac{100 - W^p}{100}), \tag{3.3}$$

де $A^{\text{р}}$ – вміст золи в розрахунку на робочу масу, %;

A^c – вміст золи на суху масу палива, %;

$W^{\text{р}}$ – робоча вологість палива, %.

Розрахунок вмісту золи в розрахунку на робочу масу:

$$A^p = 6 \cdot \left(\frac{100 - 6}{100} \right) = 5,64\,\%$$

Густина матеріалу характеризується відношенням його маси до об'єму.

Густина вологої соломи представляє собою відношення ваги зразка при даній вологості до його об'єму при тій же вологості:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w}, \tag{3.4}$$

де ρ_w – густина брикету соломи при вологості $W^{\text{р}}$, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

m_w – вага зразка брикету соломи при вологості $W^{\text{р}}$, кг;

V_w – об'єм зразка брикету соломи при вологості $W^{\text{р}}$, м^3.

Густина вологої соломи:

$$\rho_w = \frac{1100}{1} = 1100\,\frac{кг}{м^3}$$

Густина абсолютно сухої соломи представляє собою відношення ваги

соломи до її об'єму:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}, \tag{3.5}$$

де ρ_0 – густина абсолютно сухого брикету соломи, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

m_0 – вага абсолютно сухого зразка брикету соломи, кг;

V_0 – об'єм абсолютно сухого зразка брикету соломи, м^3.

Густина абсолютно сухої соломи:

$$\rho_0 = \frac{1034}{1} = 1034\ \frac{кг}{м^3}$$

Солома в тому вигляді, в якому вона потрапляє в топку котлоагрегату, називають робочим паливом. Склад робочого палива:

$$C^p + H^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\,\%, \tag{3.6}$$

де $C^{\text{р}}, H^{\text{р}}, O^{\text{р}}, N^{\text{р}}$ – вміст в соломі відповідно вуглецю, водню, кисню та азоту, %;

$A^{\text{р}}, W^{\text{р}}$ – вміст в паливі відповідно золи та вологи.

$$43,72 + 5,62 + 0,56 + 38,1 + 6 + 6 = 100\,\%$$

Суха маса палива представляє собою в даному випадку біомасу, висушену до абсолютно сухого стану. Склад сухого палива:

$$C^c + H^c + O^c + N^c + A^c = 100\,\%, \tag{3.7}$$

$$46,7 + 6 + 0,6 + 40,7 + 6 = 100\,\%$$

Горюча маса палива – це біомаса, з якої видалені волога та зола. Склад горючої маси:

$$C^г + H^г + O^г + N^г = 100\,\%, \qquad (3.8)$$

$$49,68 + 6,38 + 0,64 + 43,3 = 100\,\%$$

Теплота згоряння — це кількість енергії, що виділяється при повному згорянні 1 кг речовини.

Вищою теплотою згоряння називають повну кількість тепла, яка включає енергію, що повертається внаслідок конденсації водяної пари, утвореної в процесі горіння.

Визначимо вищу теплота згорання $Q_в^р$ визначається по формулі Д. І. Менделєєва, $\frac{кДж}{кг}$:

$$Q_в^р = 340 \cdot C^р + 1260 \cdot H^р - 109 \cdot O^р \qquad (3.9)$$

$$Q_в^р = 340 \cdot 43,72 + 1260 \cdot 5,62 - 109 \cdot 0,56 = 21,885\ \frac{кДж}{кг}$$

Нижча теплота згорання – кількість тепла, яке виділяється при згоранні 1 кг речовини, без врахування тепла використаного на випаровування вологи, яка утворилась при згоранні цього палива. Її значення визначається за формулою, $\frac{кДж}{кг}$:

$$Q_н^р = 340 \cdot C^р + 1030 \cdot H^р - 109 \cdot O^р - 25 \cdot W^р, \qquad (3.10)$$

$$Q_н^р = 340 \cdot 43,72 + 1030 \cdot 5,62 - 109 \cdot 0,56 - 25 \cdot 6 = 20,442\ \frac{кДж}{кг}$$

Якщо порівняти теплоту згорання піролізного газу який виробляється цією газогенераторною установкою та тією ж газогенераторною установкою в дещо модернізованому вигляді, то ми побачимо, що до модернізації теплота згорання піролізного газу була 15 $\frac{кДж}{кг}$, а після модернізації підвищилась до майже 20,5 $\frac{кДж}{кг}$. Така якість піролізного газу задовольняє вимоги агрофірми «Дружба».

3.2 Розрахунок топкового пристрою шарового типу

Піролізний теплогенератор може бути використаний на підприємстві в будь-якій справі де потрібно паливо. Це може бути просушування зерна, опалювання приміщень, виробництво електроенергії у випадку надзвичайних подій і т. д.

Для прикладу розрахуємо теплогенератор для опалювання офісу агрофірми, бухгалтерії, двох тракторних бригад та двох їдалень, площа яких складає близько 731 м^2.

Прийнято вважати, що для правильно спроектованого та побудованого приміщення потрібно 1 кВт тепла на кожні 10 м^2. Отже, потрібна кількість тепла за годину:

$$Q = \frac{S}{10} \cdot 0,86, \tag{3.11}$$

де Q – годинний виробіток тепла котлоагрегатом, кВт;

S – площа приміщення, м^2.

$$Q = \frac{731}{10} = 73,1\ кВт$$

Потужність піролізного котлоагрегату:

$$P = 1,163 \cdot Q, \tag{3.12}$$

де P – потужність котлоагрегату, кВт.

$$P = 1,163 \cdot 25 = 85\ кВт$$

Теоретична кількість сухого повітря, необхідна для повного згорання 1 кг робочого палива, визначається за формулами:

$$V^0 = 0,0889 \cdot C^p + 0,265 \cdot H^p - 0,0333 \cdot O^p, \tag{3.13}$$

$$L^0 = 0,115 \cdot C^p + 0,342 \cdot H^p - 0,0431 \cdot O^p, \tag{3.14}$$

де V^0 – теоретична кількість повітря, $\frac{м^3}{кг}$;

L^0 – теоретична кількість повітря, $\frac{кг}{кг}$.

$$V^0 = 0,0889 \cdot 43,72 + 0,265 \cdot 6,38 - 0,0333 \cdot 0,64 = 5,5\ \frac{м^3}{кг}$$

$$L^0 = 0,115 \cdot 43,72 + 0,342 \cdot 6,38 - 0,0431 \cdot 0,64 = 7,18 \frac{кг}{кг}$$

Теоретичний об'єм азоту розраховується за формулою:

$$V^0{}_{N_2} = 0,79 \cdot V^0 + 0,8 \cdot \frac{N^p}{100}, \quad (3.15)$$

де $V^0{}_{N_2}$ – теоретичний об'єм азоту, $\frac{м^3}{кг}$.

$$V^0{}_{N_2} = 0,79 \cdot 5,5 + 0,8 \cdot \frac{38,1}{100} = 4,65 \frac{м^3}{кг}$$

Об'єм вуглекислого газу визначається за формулою:

$$V_{CO_2} = 1,866 \cdot \frac{C^p}{100}, \quad (3.16)$$

де V_{CO_2} – об'єм вуглекислого газу, який утворився при згоранні 1 кг робочого палива, $\frac{м^3}{кг}$.

$$V_{CO_2} = 1,866 \cdot \frac{43,72}{100} = 0,816 \ \frac{м^3}{кг}$$

Теоретичний об'єм водяних парів визначається за формулою:

$$V^0{}_{H_2O} = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0, \quad (3.17)$$

де $V^0{}_{H_2O}$ – об'єм водяних парів, які утворились при згоранні 1 кг робочого палива, $\frac{м^3}{кг}$.

Вміст вологи в повітрі приймаємо рівним 10 г на 1 кг сухого повітря.

$$V^0{}_{H_2O} = 0,111 \cdot 6,38 + 0,0124 \cdot 6 + 0,0161 \cdot 5,5 = 0,87 \frac{м^3}{кг}$$

Коефіцієнтом надлишку повітря α називається відношення об'єму повітря, дійсно використаного на згорання 1 кг робочого палива, до теоретично необхідного.

$$\alpha = \frac{V_д}{V^0} = \frac{L_д}{L_0}, \quad (3.18)$$

де $V_д$, $L_д$ – дійсна кількість повітря в $\frac{м^3}{кг}$ та $\frac{кг}{кг}$ відповідно.

Знайдемо масу кисню необхідну для згоряння 1 кг повітря ($L_д$).

Знайдемо масу кисню необхідну для згорання вуглецю через молярну масу:

$$C + O_2 = CO_2, \tag{3.19}$$

де $C = 12, O_2 = 32, CO_2 = 44$.

12:32:44 | : 12

1:2,67:3,67 (кг)

Оскільки вміст С- 43,72%, то m = 2,67 · 0,4372 = 1,167 кг.

Знайдемо масу кисню необхідну для згорання водню через молярну масу:

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O, \tag{3.20}$$

де $H_2 = 2, O_2 = 32, H_2O = 36$.

4:32:36 | : 4

1:8:9 (кг)

Оскільки вміст Н складає 5,62 %, то m = 8 · 0,0562 = 0,45 кг.

Знайдемо масу кисню необхідну для згорання азоту через молярну масу:

$$N_2 + O_2 = 2NO, \tag{3.21}$$

де $N_2 = 28, O_2 = 36, NO = 30$.

28:32:60 | : 28

1:1,14:2,14 (кг)

Оскільки вміст N складає 38,1 %, то m = 1,14*0,381 = 0,434 кг.

Загальна маса кисню буде становити:

$$m = 1{,}167 + 0{,}45 + 0{,}434 = 2{,}051\ кг$$

Вміст кисню в паливі складає 0,56 %, що становитиме 0,0056 кг на 1 кг палива:

$$m = 2{,}051 - 0{,}0056 = 2{,}0454\ кг$$

Врахувавши відсотковий вміст кисню в повітрі – 23 %, по вазі:

$$L_0 = \frac{2{,}0454}{0{,}23} = 8{,}89 кг\ на\ 1\ кг\ палива$$

Враховуючи вологість соломи, отримаємо:

$$G_0 = 0{,}0889 \cdot (100 - W), \tag{3.22}$$

При $W = 6\ \%$:

$$L_0 = 0,0889 \cdot (100 - 6) = 8,357\ кг$$

Кількість кисню необхідна для згоряння 1 кг повітря:

$$\alpha = \frac{8,357}{7,18} = 1,164$$

З врахуванням цього коефіцієнту дійсний об'єм пару, який припадає на 1 кг робочого палива:

$$V_{H_2O} = V^0{}_{H_2O} + 0,0161 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0, \tag{3.23}$$

$$V_{H_2O} = 0,87 + 0,0161 \cdot (1,164 - 1) \cdot 5,5 = 0,885\ \frac{м^3}{кг}$$

Об'єм димових вологих газів, які утворились при згоранні 1 кг робочого палива $V^{в}{}_{г}$, рівний:

$$V^{в}{}_{г} = V_{CO_2} + V^0{}_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha - 1) \cdot V^0, \tag{3.24}$$

$$V^{в}{}_{г} = 0,816 + 4,65 + 0,885 + (1,164 - 1) \cdot 5,5 = 7,253\ \frac{м^3}{кг}$$

Об'єм сухих газів, які утворились при згоранні 1 кг робочого палива, рівний:

$$V^{c}{}_{г} = V_{CO_2} + V^0{}_{N_2} + (\alpha - 1) \cdot V^0, \tag{3.24}$$

$$V^{c}{}_{г} = 0,816 + 4,65 + (1,164 - 1) \cdot 5,5 = 6,368\ \frac{м^3}{кг}$$

Склад сухих газів наступний:

азот

$$N_2 = \frac{(V^0{}_{N_2} + (\alpha - 1) \cdot 0,79 \cdot V^0)}{V^{c}{}_{г}} \cdot 100, \tag{3.25}$$

$$N_2 = \frac{4,65 + (1,164 - 1) \cdot 0,79 \cdot 5,5}{6,368} \cdot 100 = 84,3\ \%$$

вуглекислий газ

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V^{c}{}_{г}} \cdot 100, \tag{3.26}$$

$$CO_2 = \frac{0,816}{6,368} \cdot 100 = 12,9\ \%$$

кисень

$$O_2 = \frac{0,21 \cdot (\alpha - 1) \cdot V^0}{V^c_г} \cdot 100, \quad (3.27)$$

$$O_2 = \frac{0,21 \cdot (1,164 - 1) \cdot 5,5}{6,368} \cdot 100 = 2,8\ \%$$

Вміст вологи в вологих димових газах по об'єму в відсотках складає:

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V^в_г} \cdot 100, \quad (3.28)$$

$$H_2O = \frac{0,885}{7,253} \cdot 100 = 12,2\ \%$$

Ентальпія димових газів на 1 кг спалюваного робочого палива підраховується за формулою:

$$I = I^0_г + (\alpha - 1) \cdot I^0_в\ , \quad (3.29)$$

де $I^0_г$ – ентальпія газів при коефіцієнті надлишку повітря α=1 та температурі газів ϑ, °С;

$I^0_в$ – ентальпія теоретично необхідного об'єму повітря, $\frac{кДж}{м^3}$.

$$I^0_г = V_{CO_2} \cdot (c\vartheta)_{CO_2} + V^0_{N_2} \cdot (c\vartheta)_{N_2} + V_{H_2O} \cdot (c\vartheta)_{H_2O}, \quad (3.30)$$

де $(c\vartheta)$ – ентальпія даного компоненту, $\frac{кДж}{м^3}$.

$$I^0_г = 0,816 \cdot 1223 + 4,65 \cdot 804 + 0,885 \cdot 967 = 5520\ \frac{кДж}{м^3}$$

Ентальпія теоретично необхідного об'єму повітря:

$$I^0_в = V^0 \cdot (c\vartheta)_в \ , \tag{3.31}$$

$$I^0_в = 5,5 \cdot 830 = 4565 \frac{кДж}{м^3}$$

Ентальпія димових газів на 1 кг спалюваного робочого палива:

$$I = 5520 + (1,164 - 1) \cdot 4565 = 6269 \frac{кДж}{м^3}$$

3.3 Визначення годинної витрати палива

Годинна витрата робочого палива в тонах визначається за формулою:

$$B_{р.п.} = \frac{P}{Q^р_н \cdot \eta} \ , \tag{3.32}$$

де $B_{\text{р.т.}}$ – годинна витрата робочого палива, кг.;

$Q^{\text{р}}_{\text{н}}$ – теплота згорання робочого палива, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$.

$$B_{р.п.} = \frac{85}{20,442 \cdot 0,85} = 5 \, кг$$

3.4 Конструктивний розрахунок

3.4.1 Визначення площі дзеркала горіння та площі колосникової решітки

Дзеркалом горіння називають верхній переріз шару, в якому проходить горіння палива. Для шарових топок з горизонтальним шаром палива площа дзеркала горіння приймають рівною площі колосникової решітки.

Тепло напругу колосникової решітки чи дзеркала горіння називають кількість теплової енергії, яка виділяється в одиницю часу на 1 м^2 площі.

Теплонапруга колосникової решітки чи дзеркала горіння є основним нормативним показником при розрахунку топкових пристроїв шарового типу згорання. На основі нормативного значення цього показника визначається площа колосникової решітки чи дзеркала горіння за формулою:

$$R = \frac{P}{q_R \cdot \eta}, \tag{3.33}$$

де R – площа колосникової решітки чи дзеркала горіння, м^2;

η – ККД теплогенератора в відсотках;

q_R – тепло напруга колосникової решітки чи дзеркала горіння, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$;

P – потужність котлоагрегату, кВт.

$$R = \frac{85}{500 \cdot 0,85} = 0,2\ м^2$$

Тепло напруга топкового простору є основним нормативним показником для розрахунку топкових пристроїв. Об’єм топкового простору $V_т$ визначають за формулою:

$$V_m = \frac{P \cdot h}{q_V \cdot \eta}, \tag{3.34}$$

де q_V – тепло напруга топкового простору, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$;

h - висота топкового простору, м.

$$V_m = \frac{85 \cdot 2}{200 \cdot 0,85} = 1\ м^3$$

3.4.2 Розрахунок товщини стінок топки, обичайки барабану та трубопроводів

Номінальна товщина стінки топки, обичайки барабану чи трубопроводів повинна бути не менше визначеної за формулою:

$$S = S_R + c\,, \tag{3.35}$$

де S – номінальна товщина стінки, мм;

S_R – розрахункова товщина стінки, мм;

c – додаток до розрахункової товщини стінки (приймаємо згідно рекомендацій), мм.

$$S_R = \frac{p \cdot D_a}{2 \cdot \sigma - p}\,, \tag{3.36}$$

де D_a – внутрішній діаметр обичайки барабана, мм.

Для топки та випуклого днища:

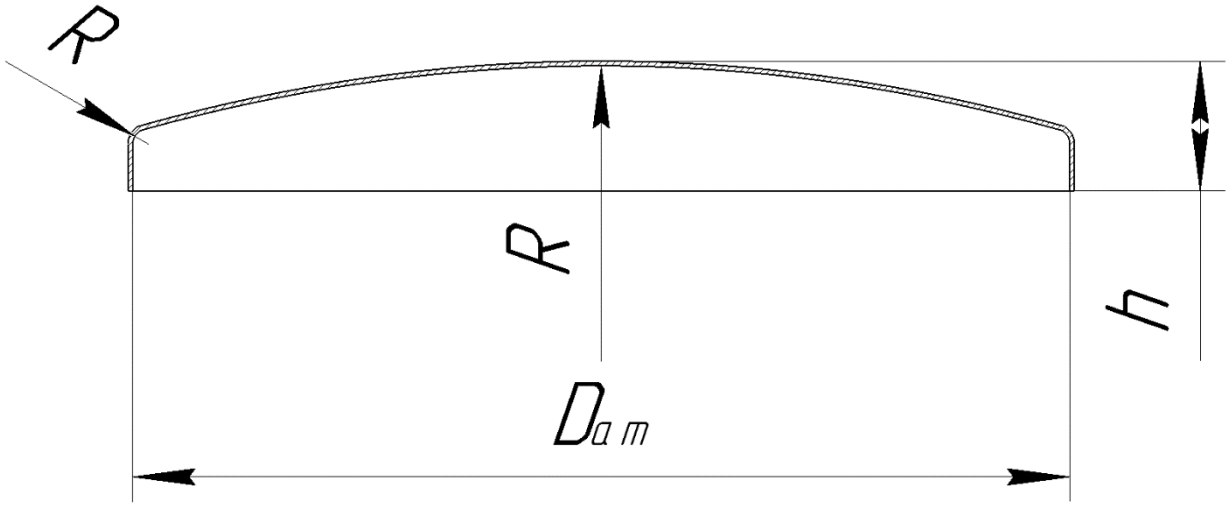

Рисунок 3.1. Днище топки

Визначимо внутрішній діаметр топки:

$$D_{a\,m} = \sqrt{\frac{V_m \cdot 4}{\pi \cdot h}} - 0,2\ , \tag{3.37}$$

$$D_{a\,m} = \sqrt{\frac{1 \cdot 4}{3,14 \cdot 2}} - 0,2 = 0,6\ м = 600\ мм$$

За формулами (3.35) та (3.36) визначимо товщину стінки топки та випуклого днища:

$$S_R = \frac{0,07 \cdot 600}{2 \cdot 20 - 0,07} = 1,05 \text{ мм}$$

$$S = 1,05 + 2 = 3,05 \text{ мм}$$

Для обичайки барабану:

Визначимо внутрішній діаметр обичайки барабана:

$$D_{а\,об} = 1,5 \cdot D_{а\,т}, \tag{3.38}$$

$$D_{а\,об} = 1,5 \cdot 600 = 900 \text{ мм}$$

За формулами (3.35) та (3.36) визначимо товщину стінки обичайки барабана:

$$S_R = \frac{0,03 \cdot 900}{2 \cdot 20 - 0,03} = 0,68 \text{ мм}$$

$$S = 0,68 + 2 = 2,68 \text{ мм}$$

Для трубопроводів:

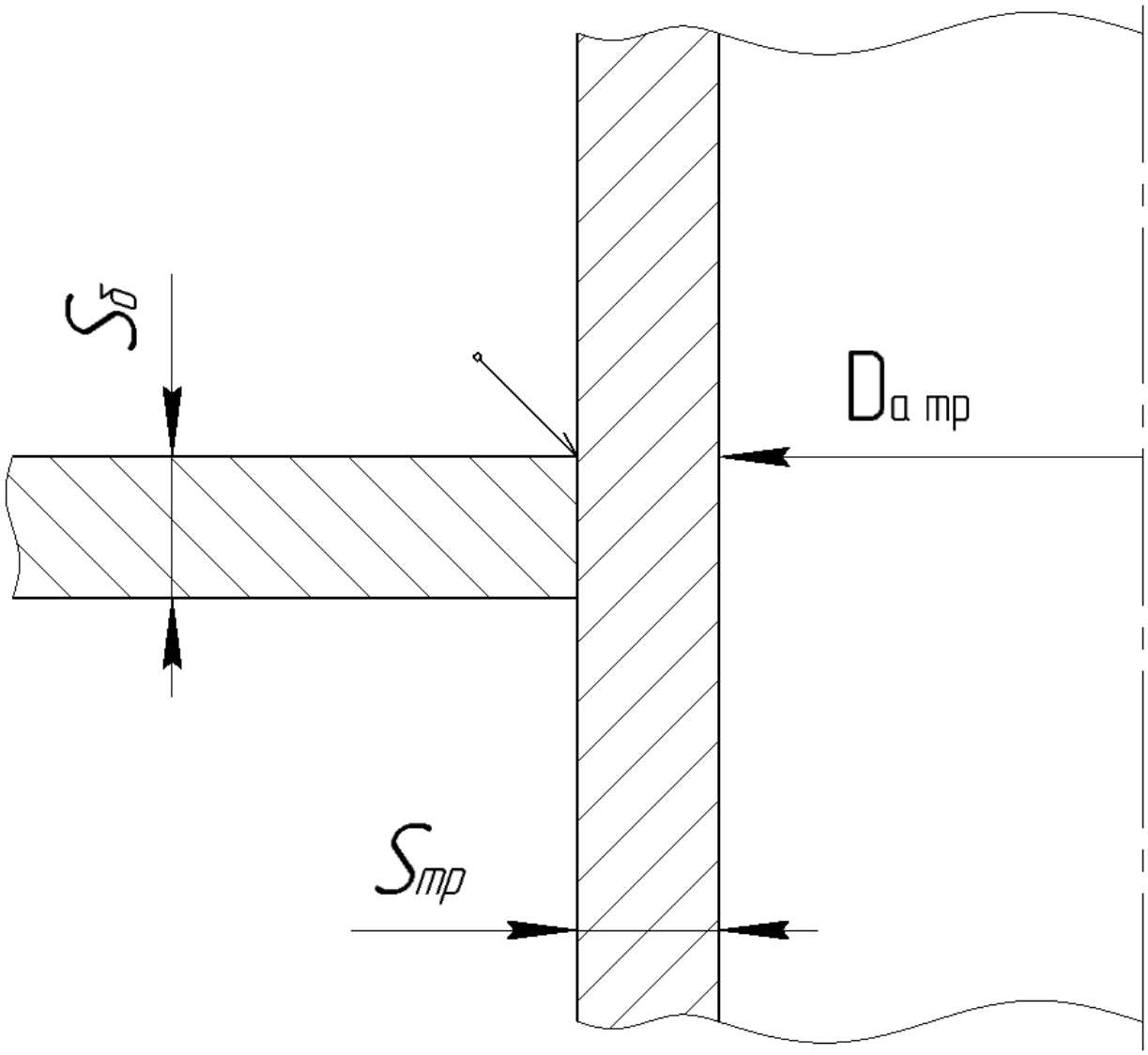

Рисунок 3.2. Місце зварного з’єднання барабану та повітропроводу

Визначимо внутрішній діаметр трубопроводів:

$$D_{a\,тр} = 0{,}1 \cdot D_{a\,т}, \tag{3.39}$$

$$D_{a\,тр} = 0{,}1 \cdot 600 = 60\ мм$$

За формулами (3.35) та (3.36) визначимо товщину стінки трубопроводів:

$$S_R = \frac{0{,}03 \cdot 60}{2 \cdot 20 - 0{,}03} = 0{,}5\ мм$$

$$S = 0,5 + 2 = 2,5 \text{ мм}$$

Формули придатні лише у випадку якщо дотримується наступна умова:

$$\frac{S - c}{D_a} \leq 0,2 \ , \tag{3.40}$$

Для топки та випуклого днища:

$$\frac{3,05 - 2}{600} \leq 0,2$$

$$0,00175 \leq 0,2$$

Умова виконується.

Для обичайки барабану:

$$\frac{2,68 - 2}{900} \leq 0,2$$

$$0,00075 \leq 0,2$$

Умова виконується.

Для трубопроводів:

$$\frac{2,5 - 2}{60} \leq 0,2$$

$$0,0083 \leq 0,2$$

Умова виконується.

Оскільки при розрахунках умови виконуються, наступним етапом буде перевірка товщини стінок топки, барабана та повітропроводів на допустимий тиск та допустиму напругу. Дійсний тиск в топці не перевищує 0,07 МПа, в барабані та повітропроводах 0,03 МПа. Дійсні напруження в топці, барабані та повітропроводах не перевищують 20 МПа.

3.4.3 Розрахунок допустимого тиску

Допустимий робочий тиск повинен бути не більше значень отриманих за наступною формулою:

$$p = \frac{2 \cdot (S - c) \cdot \sigma}{D_a - (S - c)} \ , \tag{3.41}$$

Для топки та випуклого днища:

$$p = \frac{2 \cdot (0,00305 - 0,002) \cdot 20}{0,6 - (0,00305 - 0,002)} = 0,070122 \ МПа$$

Для обичайки барабану:

$$p = \frac{2 \cdot (0,00268 - 0,002) \cdot 20}{0,9 - (0,00268 - 0,002)} = 0,030245 \ МПа$$

Для трубопроводів:

$$p = \frac{2 \cdot (0,0025 - 0,002) \cdot 20}{0,06 - (0,0025 - 0,002)} = 0,336 \ МПа$$

Допустимий робочий тиск більший ніж дійсний, значить товщина стінок топки, барабана та повітропроводів визначена вірно.

3.4.4 Розрахунок допустимих напружень

Приведена напруга визначається за наступною формулою:

$$\sigma = \frac{p \cdot \left[D_a + (S - c) \right]}{2 \cdot (S - c)}, \tag{3.42}$$

Для топки та випуклого днища:

$$\sigma = \frac{0,07 \cdot \left[0,6 + \left(0,00305 - 0,002\right)\right]}{2 \cdot \left(0,00305 - 0,002\right)} = 20,035\ МПа$$

Для обичайки барабану:

$$\sigma = \frac{0,03 \cdot \left[0,9 + \left(0,00268 - 0,002\right)\right]}{2 \cdot \left(0,00268 - 0,002\right)} = 46,35\ МПа$$

Для трубопроводів:

$$\sigma = \frac{0,336 \cdot \left[0,06 + \left(0,0025 - 0,002\right)\right]}{2 \cdot \left(0,0025 - 0,002\right)} = 20,33\ МПа$$

Допустимі напруження більші ніж дійсні, значить товщина стінок топки, барабана та трубопроводів визначена вірно.

Висновки

Після модернізації теплогенераторного пристрою теплота згорання піролізного газу підвищилась з 15 $\frac{МДж}{кг}$ до майже 20,5 $\frac{МДж}{кг}$.

Оскільки при розрахунках умови виконуються, допустимі напруження більші ніж дійсні, допустимий робочий тиск більший ніж дійсний, значить товщина стінок топки, барабана та повітропроводів визначена вірно.

Розміри модернізованого пристрою після розрахунків склали – 1,2×0,9×3,3 м.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Організація охорони праці в агрофірмі

На підприємстві діє служба охорони праці, створена відповідно до чинного «Положення про службу охорони праці». Керівництво службою здійснює її начальник, усього в штаті працює дві особи. Для проведення роботи з охорони праці в господарстві функціонує спеціалізований кабінет.

Загальну відповідальність за стан охорони праці несе керівник підприємства, а в окремих підрозділах — їх безпосередні керівники.

На підприємстві організовано проведення таких видів інструктажів:

- вступний інструктаж проводиться з усіма новими працівниками до початку роботи та фіксується у відповідному журналі.
- первинний інструктаж здійснюється безпосередньо на робочому місці перед початком трудової діяльності. Його проводить керівник дільниці або відповідальний працівник. Факт проведення реєструється.
- повторний інструктаж має проводитися не рідше одного разу на пів року, однак у практиці інколи обмежуються лише записом у журналі.
- позаплановий інструктаж здійснюється у випадках змін у технологічному процесі, введення нового обладнання або після нещасних випадків. Проводиться лише за потреби та фіксується.
- цільовий інструктаж проводиться перед виконанням робіт підвищеної небезпеки.

Також реєструється відповідно до вимог.

Умови праці та побуту: на підприємстві відсутні гардеробні та душові кімнати, немає й шафок для зберігання змінного одягу. Водночас на кожній виробничій дільниці встановлені умивальники з холодною водою та миючими засобами, але без спеціальних паст для сильного забруднення. Туалети облаштовані окремо.

Колективний договір передбачає положення щодо охорони праці, а громадський контроль здійснює представник трудового колективу, оскільки профспілкова організація відсутня.

Працівники забезпечуються спецодягом, який видається строком на один рік. Проте засоби індивідуального захисту для роботи з отрутохімікатами не надаються.

Наочна інформація з питань безпеки представлена плакатами та табличками на виробничих дільницях і в кабінеті охорони праці.

Фінансування охоронних заходів здійснюється за рахунок підприємства, при цьому працівники не несуть жодних витрат. Однак обсяг фінансування вважається недостатнім.

До основних недоліків організації охорони праці належать:

- використання обприскувальної машини як пожежного транспорту, що в разі потреби може бути задіяна в полі;
- віддаленість джерела забору води для гасіння пожежі від виробничих бригад;
- іноді до роботи допускається несправна техніка;
- інструктажі проводяться не в повному обсязі;
- відсутність умов для зберігання одягу й особистої гігієни (шафи, душові, гардеробні);
- неповне або несвоєчасне забезпечення працівників спецодягом;
- відсутність засобів захисту для роботи з хімікатами.

4.2 Вимоги безпеки під час користування теплотехнічним обладнанням

4.2.1 Загальні вимоги безпеки

Цей розділ містить основні вимоги безпеки, які потрібно дотримуватись при використанні водогрійних котлів та парових котлів з тиском до 0,07 МПа і температурою води не вище 115°С.

Відповідальність за безпечну експлуатацію обладнання покладається на спеціально призначеного працівника з відповідною кваліфікацією, досвідом та посвідченням.

Порушення правил експлуатації може призвести до важких наслідків — опіків, ураження електричним струмом або травм через вибух котла.

Обслуговувати котли дозволяється тільки повнолітнім працівникам, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, склали іспит кваліфікаційній комісії та мають відповідне посвідчення. Їхні знання мають щорічно

перевірятися — зазвичай перед початком опалювального сезону, а також при зміні типу палива або переході на інше обладнання.

Після проходження необхідної підготовки працівники допускаються до самостійної роботи наказом по підприємству.

На підприємстві має бути розроблена інструкція з експлуатації котлів, затверджена головним інженером. Вона повинна знаходитися на кожному робочому місці та видаватися працівникам під підпис. Також на видному місці повинні бути розміщені схеми підключення котлів.

Працівники, які обслуговують котельне обладнання, повинні бути забезпечені спецодягом згідно з нормами: бавовняним костюмом, комбінованими рукавицями, захисними окулярами. Котлочисту додатково надаються натільна білизна, захисне взуття (черевики або чоботи), шолом з наплічниками, підшоломник і респіратор.

У котельні обов’язково мають бути вогнегасники (типу ОХП-10 — 2 шт. та ОП-10). Обслуговуючий персонал повинен знати, як ними користуватися, і не застосовувати протипожежне обладнання не за призначенням.

До приміщення котельні заборонено допускати сторонніх осіб без дозволу керівництва. Вони можуть перебувати там лише у супроводі відповідального працівника.

Приміщення повинно бути чистим, без зайвих предметів і матеріалів. Проходи та виходи не можна загромаджувати. Заборонено зберігати в котельні легкозаймисті рідини або паливно-мастильні матеріали.

Технічний стан котлів перевіряється:

- щозміни — обслуговуючим персоналом з фіксацією в журналі;
- щоденно — відповідальним за експлуатацію;
- щорічно — головним інженером, з оформленням акту огляду.

Для роботи всередині котлів або в газоходах дозволяється використовувати тільки акумуляторні переносні світильники у вибухозахищеному виконанні з напругою не більше 12 В. Увімкнення таких ламп повинно відбуватись поза вибухонебезпечною зоною.

4.2.2 Вимоги до безпечного початку роботи

1. Перед початком роботи працівник має вдягнути спецодяг відповідно до встановлених норм.
2. Необхідно перевірити наявність і справність первинних засобів пожежогасіння, ознайомитися з записами у змінному журналі. Також слід переконатися у справному стані котлів та обладнання, що до них належить, перевірити роботу аварійного освітлення, засобів телефонного зв’язку або сигналізації, які використовуються для виклику адміністрації в надзвичайних ситуаціях та для зв’язку котельні з об’єктами, що споживають пару.
3. Прийом і передача зміни мають фіксуватись у змінному журналі з підписами відповідальних осіб. Щоденний контроль записів здійснює відповідальна особа за безпечну експлуатацію котлів. Заборонено здійснювати прийом чи передачу чергування під час ліквідації аварійної ситуації.
4. Перед розпалюванням котла необхідно перевірити:

- технічний стан топки, газоходів, запірної та регулювальної арматури;
- справність контрольно-вимірювальних приладів, живильного обладнання, вентиляторів, а також наявність природної тяги;
- справність системи подачі газоподібного палива;
- рівень води в котлі, герметичність з'єднань, арматури, люків;
- відсутність заглушок на продувних, спускних, живильних трубопроводах, а також на газо- й мазутопроводах і перед/після запобіжних клапанів;

- переконатися, що в топці та газоходах немає сторонніх предметів.

5. Забороняється запускати котел у роботу за наявності несправностей у арматурі, живильному обладнанні, автоматичних системах, пристроях аварійного захисту або сигналізації.
6. Безпосередньо перед розпалюванням котла потрібно обов’язково провести вентиляцію топки й газоходів, що повинна тривати не менше 10–15 хвилин.

4.2.3 Вимоги безпеки під час експлуатації котлів

1. Розпалювання котлів дозволяється лише за наявності письмового дозволу, внесеного відповідальною за безпеку особою до змінного журналу.
2. Час початку розпалювання і запуску котла має бути зафіксований у змінному журналі.
3. Процес розпалювання котла повинен відповідати вимогам заводської документації. Забороняється використовувати для розпалювання котлів на твердому паливі легкозаймисті нафтопродукти, такі як бензин, гас або дизпаливо.
4. Підтягування болтових з’єднань, лючків тощо під час розпалювання слід робити обережно, у присутності відповідального за безпеку, користуючись тільки стандартними інструментами без подовжувачів.
5. Під час чергування персонал котельні має контролювати справність котла і всього обладнання, суворо дотримуючись встановленого режиму роботи. Виявлені несправності заносяться до змінного журналу. При серйозних поломках необхідно негайно вживати заходів для їх усунення, а якщо це неможливо — повідомити відповідальну особу і зупинити котел.
6. Під час роботи слід підтримувати:

- правильний рівень води в котлі, не допускаючи виходу за встановлені межі;
- нормальний тиск пари, без перевищення допустимого значення;
- встановлені температури перегрітої пари і живильної води;
- правильну роботу пальників і форсунок.

7. Не рідше одного разу за зміну слід перевіряти:

    - роботу манометрів через триходові крани або запірні вентилі;
    - справність водовказівних приладів за допомогою продувки;
    - роботу запобіжних клапанів через продувку;
    - працездатність живильних насосів шляхом їх короткочасного запуску.

8. Продувку котла слід проводити в присутності відповідального за безпеку, переконавшись у справності водовказівників, живильних пристроїв і наявності води в баках. Відкривати продувну арматуру потрібно поступово і обережно, спостерігаючи за рівнем води, щоб не допустити його зниження. При виявленні гідравлічних ударів або вібрації продувку треба припинити. Забороняється відкривати чи закривати продувну арматуру ударами молотка або важелями. Час початку і завершення продувки заноситься до журналу.
9. Чищення топки слід проводити при зниженому навантаженні котла, з ослабленим або виключеним дуттям та зниженій тязі. При цьому повинна працювати витяжна вентиляція.
10. Під час чергування працівники котельні не повинні відволікатися від своїх обов’язків.
11. Під час роботи котлів заборонено замикати двері для виходу з котельного приміщення.
12. Роботи всередині топок і газоходів допускаються лише при температурі не вище 60 °С за наявності наряду-допуску на підвищено небезпечні

роботи. Час перебування одного працівника у таких умовах без перерви не повинен перевищувати 20 хвилин. Заходи безпеки визначаються в наряді.

13. Перед закриттям люків і лазів потрібно переконатися у відсутності усередині котла людей і сторонніх предметів, а також перевірити наявність і справність внутрішнього обладнання.
14. Перед початком ремонтних робіт усередині барабана, камери чи колектора котла, що з'єднані із працюючими котлами трубопроводами, а також перед оглядом чи ремонтом під тиском, котел має бути ізольований або відключений, а трубопроводи заглушені.
15. При роботі на газоподібному паливі котел має бути надійно відокремлений від загального газопроводу згідно з інструкцією.
16. Усунення несправностей під тиском або під впливом високих температур виконують лише при зупиненому котлі.
17. Під час відключення трубопроводів і газоходів на вентилях та інших пристроях слід розміщувати попереджувальні таблички "Не включати – працюють люди!", а плавкі вставки знімати.
18. Після тривалої зупинки котлів влітку або по завершенню опалювального сезону їх очищають, заливають водою і відключають від водопостачання.
19. При зупинці котлів у холодний період, особливо у неопалюваних приміщеннях, проводять очищення, промивання, гідравлічні випробування і зливають воду з котла, насосів і трубопроводів.

4.2.4 Вимоги безпеки при аварійних ситуаціях

1. Котел потрібно негайно зупинити, якщо:

- різко зростає тиск або температура понад допустимі межі, незважаючи на вжиті заходи (наприклад, припинення подачі палива, зменшення тяги чи дуття);
- з'являються пошкодження котла з витоком води;
- несправні живильні пристрої, манометри, термометри, водовказівники або запобіжні клапани;
- припиняється циркуляція води (через поломку насоса або відключення електроенергії);
- виявлені тріщини, роздування, негерметичність швів, розриви труб у барабані, жарових трубах, вогневій коробці чи трубних решітках;
- деталі котла або каркас розжарюються до червоного кольору;
- в газоходах або пароперегрівнику горить сажа чи залишки палива;
- чути незвичайний шум, стук або вібрацію;
- несправні запобіжні блокувальні системи;
- виникає пожежа, що загрожує котлу.

2. Причини аварійної зупинки обов’язково фіксуються у змінному журналі.
3. При аварійній зупинці необхідно:

- припинити подачу палива та повітря, послабити тягу;
- після загасання в топці деякий час тримати відкритою димову заслінку;
- відключити котел від головного паропроводу;
- випустити пару через запобіжні клапани або аварійний вентиль. Забороняється подавати воду у сильно розпечений котел, щоб уникнути вибуху.

4. Якщо загорілася сажа або паливні частки в газоходах чи пароперегрівнику, слід терміново припинити подачу палива і повітря, зупинити тягу, вентилятори та димососи, закрити всі повітряні і газові заслінки. За можливості заповнити газохід парою і після гасіння провентилювати топку.

5. При пожежі в котельні слід негайно викликати пожежників і почати гасіння, не припиняючи контролю за котлами. Якщо пожежа загрожує котлам і її не вдається швидко загасити — зупинити котли аварійно.
6. Персонал має бути евакуйований у безпечне місце, постраждалим слід надати першу медичну допомогу і викликати швидку.
7. Повідомити про аварію керівника цеху чи ділянки, а при роботі на газі — також диспетчера газової служби.
8. Відновлення роботи котла після аварії допускається лише за письмовим наказом керівника цеху (по наряду-допуску).

4.2.5 Вимоги безпеки після завершення роботи

1. По завершенню роботи в котельні необхідно привести робоче місце до порядку.

2. Чергування слід здати відповідальній за зміну особі, зробивши в змінному журналі запис про всі виявлені недоліки, несправності, вказівки та розпорядження керівництва.

3. Зупинка котла (крім випадків аварійних) здійснюється лише за письмовим наказом особи, відповідальної за безпечну експлуатацію котла, про що обов’язково робиться запис у змінному журналі.

4. При зупинці котла працівники котельні не можуть залишати робоче місце, доки не припиниться горіння в топці, не буде видалено залишки палива і тиск не впаде до нуля. Виняток становлять котли без цегляної кладки — у них після видалення палива з топки не обов’язково знижувати тиск до нуля, якщо котельня буде зачинена на замок.

4.3 Рекомендації щодо покращення охорони праці

Для покращення організації охорони праці потрібно провести ряд змін:

- Підтримувати машини в належному стані, і не дозволяти використовувати в несправному стані;
- Обладнати місце для забору води поруч з бригадами;
- Виділити 1 машину, яка буде постійно готова виїхати на виклик у разі пожежі;
- Проводити інструктажі з охорони праці проводяться в повному обсязі;
- Встановити шафки для зберігання одягу;
- Обладнати гардеробну та душову кімнати;
- Видавати спецодяг у повному обсязі;
- Видавати засоби індивідуального захисту для роботи з ядохімікатами.

Висновки

Було проведено аналіз охорони праці та виявлено ряд порушень охорони праці, які були пов’язані з неналежними санітарно-побутовими умовами, проведенням інструктажів з охорони праці не в повній мірі, не належною пожежною безпекою і видачею ЗІЗ не в повному обсязі. Та розроблено рекомендації щодо покращення охорони праці на цьому підприємстві.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ

Для вирішення поставлених задач нами було розроблено і удосконалено використання піролізного котлоагрегату для обігріву офісу агрофірми, бухгалтерії, двох тракторних бригад та двох їдалень.

Для проведення економічної оцінки проекту необхідно визначити наступні показники:

Річні експлуатаційні витрати:

$$ЕВ = ОП + А + ПР + ЕрВ + ІВ, \quad (5.1)$$

де ЕВ – загальна сума річних експлуатаційних витрат, грн.;

ОП – витрати, що включають безпосередньо заробітну плату з усіма нарахуваннями, грн.;

А – сумарні відрахування на амортизацію, грн.;

ПР – витрати на технічні огляди і поточний ремонт, грн.;

ЕрВ – вартість енергоресурсів, що спожиті протягом року, грн.;

ІВ – інші витрати (наприклад спецвзуття, страхування тощо.), грн.

Витрати на оплату праці визначимо:

$$ОП = ФЗП + ЄСВ, \quad (5.2)$$

де ФЗП – фонд оплати праці, грн.;

ЄСВ – нарахування єдиного соціального внеску, грн.

Розмір єдиного соціального внеску становить 37,19 % від загальної суми нарахувань фонду заробітної плати (ФЗП).

$$ЄСВ = ФЗП \cdot 0{,}3719, \quad (5.3)$$

ФЗП можна розрахувати:

$$ФЗП = К \cdot Т \cdot Д \cdot ТС, \quad (5.4)$$

де К – кількість людей, які обслуговують конкретний технічний засіб на виконанні операції, К = 1 чол.;

Т – тривалість роботи технічного засобу за добу, Т = 24 год.;

Д – кількість днів виконання технічним засобом цієї операції на протязі року, Д = 150 днів;

ТС – годинна тарифна ставка, ТС = 18,2

$$ФЗП_{ф} = 1 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 18,2 = 65520 \text{ грн},$$

$$ФЗП_{пр} = 1 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 18,2 = 65520 \text{ грн.}$$

$$ЄСВ_{ф} = 65520 \cdot 0,3719 = 24366,89 \text{ грн},$$

$$ЄСВ_{пр} = 65520 \cdot 0,3719 = 24366,89 \text{ грн.}$$

$$ОП_{ф} = 65520 + 24366,89 = 89886,89 \text{ грн},$$

$$ОП_{пр} = 65520 + 24366,89 = 89886,89 \text{ грн.}$$

Суму амортизаційних відрахувань визначаємо за формулою:

$$A = \frac{ВТ_{з} \cdot НА}{100}, \quad (5.5)$$

де $ВТ_{з}$ – балансова вартість технічного засобу, $ВТ_{зф}$ = 98400 грн., $ВТ_{зпр}$ = 140000 грн.;

НА – річна норма амортизації на технічний засіб,

НА = 15%.

$$A_{ф} = \frac{98400 \cdot 15}{100} = 14760 \text{ грн.},$$

$$A_{пр} = \frac{140000 \cdot 15}{100} = 21000 \text{ грн}$$

Затрати на проведення техоглядів і поточного ремонту технічного засобу:

$$ПР = \frac{А \cdot 30}{100}, \quad (5.6)$$

$$ПР_{ф} = \frac{14760 \cdot 30}{100} = 4428\ грн.,$$

$$ПР_{пр} = \frac{21000 \cdot 30}{100} = 6300\ грн.$$

Вартість енергоресурсів, використаних за рік:

$$ЕрВ = Т \cdot Д \cdot ТВ, \quad (5.7)$$

де ТВ – вартість витраченої за годину теплоенергії, грн..

$$ТВ_{ф} = Г \cdot ГВ, \quad (5.8)$$

де Г – вартість 1 м^3 газу, грн./ м^3;

ГВ – витрата природного газу за годину, м^3.

$$ТВ_{ф} = 6,9579 \cdot 6 = 41,75\ грн.$$

$$ТВ_{пр} = В_{р.п.} \cdot СП, \quad (5.9)$$

де $В_{р.п.}$ – година витрата солом'яних пелет, кг;

СП – собівартість виробництва солом'яних пелет, грн./кг.

$$ТВ_{пр} = 6 \cdot 1,5 = 9\ грн.,$$

$$ЕрВ_{ф} = 24 \cdot 150 \cdot 41,75 = 150300\ грн.,$$

$$ЕрВ_{пр} = 24 \cdot 150 \cdot 9 = 32400\ грн.$$

Визначаємо інші витрати:

$$IB = \frac{(ОП + А + ПР + ЕрВ)\cdot 5}{100}, \quad (5.10)$$

$$IB_{ф} = \frac{(89886,89 + 14760 + 4428 + 150300)\cdot 5}{100} = 12968,75\ грн.,$$

$$IB_{пр} = \frac{(89886,89 + 21000 + 6300 + 32400)\cdot 5}{100} = 7479,35\ грн.$$

Річні експлуатаційні витрати:

$$EB_{ф} = 89886,89 + 14760 + 4428 + 150300 + 12968,75 = 272343,64\ грн.,$$

$$EB_{пр} = 89886,89 + 21000 + 6300 + 32400 + 7479,35 = 157066,24\ грн.$$

Експлуатаційні витрати розраховані для фактичного та проектного об'єктів, що досліджуються.

Визначимо економічний ефект за 150 днів:

$$EE = EB_{ф} - EB_{пр}, \quad (5.11)$$

$$EE = 272343,64 - 157066,24 = 115277,4\ грн.$$

Визначимо строк окупності додаткових капіталовкладень у рамках проекту:

$$T = \frac{\Delta PI}{EE}\cdot Д, \quad (5.12)$$

де ΔPI – додаткові реальні інвестиції, грн.

$$\Delta PI = BT_{зпр} - BT_{зф}, \quad (5.13)$$

$$\Delta PI = 140000 - 98400 = 41600\ грн.,$$

$$T = \frac{41600}{115277,4}\cdot 150 = 55\ днів.$$

Таблиця 5.1

Економічний ефект впровадження проекту

Показник	Варіанти		Проект у % до базового варіанту
	Базовий	Проектний	
Вартість обладнання за балансом, грн.	98400	140000	+42,3 %
Витрати на рбслуговування за рік – всього, грн.	272343,64	157066,24	-42,3 %
включно:			
- з урахуванням заробітної плати, грн.	89886,89	89886,89	0 %
- амортизаційні відрахування, грн.	14760	21000	-42,3 %
- відрахування на поточний ремонт і техогляди технічного засобу, грн.	4428	6300	-42,3 %
- енергоресурси, що споживаються за рік, грн.	150300	32400	+78,5 %
- інші витрати, грн.	12968,75	7479,35	-42,3 %
Економічний результат за рік, грн.	-	115277,4	-
Строк окупності додаткових капітальних інвестицій, днів	-	55	-

Висновки

В результаті розрахунків було визначено що річний економічний ефект від впровадження проекту складатиме 115277,4 грн., а термін окупності складатиме 55 днів. Це є дуже високим показником, тому економічна доцільність є очевидною.

ВИСНОВКИ

1. Основним напрямком діяльності агрофірми є рослинництво. Виконавши аналіз посівних площ видно, що основними культурами озима пшениця та соняшник, які складають 55 та 26,43% відповідно від посівних площ. Тому більш доцільною є б переробка рослинних відходів в газоподібне паливо, яке потім можна було б використовувати для виробництва електроенергії для підприємства або як замінник природного палива. З економічної точки зору це є більш вигідним.

2. У світі щодня зростає інтерес до використання соломи як біопалива, що є результатом загального курсу на розвиток відновлюваної енергетики та зменшення залежності від викопних енергоносіїв. Значні інвестиції вкладаються в альтернативну енергетику, особливо в галузі біоенергетики, де солома посідає чільне місце завдяки своїй доступності, екологічності та енергетичному потенціалу.

3. Порівняльний аналіз свідчить, що 10 кВт теплової енергії можна отримати з 1 м³ природного газу; 1 літра дизельного палива; близько 1 м³ деревини (залежно від породи); лише 2,5 кг соломи з вологістю 20%.

4. У межах даної роботи було вдосконалено конструкцію теплогенератора для отримання газоподібного палива з рослинних решток, зокрема соломи. Таким чином, модернізований теплогенератор створює технічні передумови для ефективного перетворення соломи в газоподібне паливо, що сприятиме зменшенню енергетичних витрат аграрних підприємств, підвищенню енергетичної незалежності та збереженню довкілля.

5. Внаслідок модернізації теплогенераторного пристрою вдалося підвищити теплоту згоряння піролізного газу з 15 до майже 20,5 МДж/кг. За результатами проведених розрахунків установлено, що всі умови міцності виконуються: фактичні напруження не перевищують допустимі значення, а робочий тиск є меншим за допустимий. Це свідчить про правильність вибору товщини стінок топки, барабана та повітропроводів. Габаритні розміри вдосконаленого пристрою після розрахунків становлять 1,2 × 0,9 × 3,3 м.

6. В результаті розрахунків було визначено що річний економічний ефект від впровадження проекту складатиме 115277,4 грн., а термін окупності складатиме 55 днів. Це є дуже високим показником, тому економічна доцільність є очевидною.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. *Енергетична система України: стан на кінець 2024 року та сценарії на 2025* [Електронний ресурс] // Нафта і Газ України.Режим доступу:https://oil-gas.com.ua/statti/enerhetychna_systema_ukrainy_stan_na_kinets_2024_roku_

2. *БАЛАНС ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ №3(59) Березень 2023* [Електронний ресурс]//Енергоджерела.– Режим доступу: https://enerhodzherela.com.ua/novyny/БАЛАНС-ЕНЕРГЕТИКИ-УКРАЇНИ

3. *ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ У ЧЕРВНІ 2024 р.* [Електронний ресурс] //Центр Разумкова. Режим доступу: https://razumkov.org.ua/images/2024/07/11/2024-РАКТ-12.pdf

4. Гелетуха Г. Г. *Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні*. – Київ: Поліграф плюс, 2015. – 72 с. Практичний посібник з техніко-економічними розрахунками, прикладами впровадження ТПТ, таблицями характеристик біомаси та формулами для оцінки ефективності.

5. Гелетуха Г. Г., Жовмір М. М., Желєзна Т. А., Зубенко В. І. *Експериментальне дослідження швидкого піролізу біомаси в абляційному шнековому реакторі*. – Промислова теплотехніка, 2013, т. 35, № 1, с. 87–93. Містить детальні розрахунки параметрів піролізу, аналіз виходу піропалива та рекомендації щодо вдосконалення технології.

6. Зима І. В., Бєлов В. О., Рябошапка Р. М., Торопенко О. В. Керування режимами роботи установки для піролізної деструкції твердих побутових відходів. – VIII CISP Conference, 2024.

7. Желєзна Т. А. Аналіз режимних умов низькотемпературного абляційного піролізу біомаси. – Вісник НАН України, 2014.

8. Пономарчук О. В. Газоподібне паливо теплогенеруючих установок. – Вінниця: ВНТУ, 2012.

9. LibreTexts. Піроліз біомаси та попередня обробка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ukrayinska.libretexts.org

10. Beston Group. Завод піролізу – Рішення для переробки біомаси [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.bestongroup.com/uk/pyrolysis-plant.

11. Балаян Ю. О., Солошенко С. А. Перспективи застосування біопалива в Україні // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2022. – № 1(41). – С. 15–20.

12. Біоенергетика в Україні: Потенціал, ринок, технології [Електронний ресурс] / Держенергоефективності України. – 2021. – Режим доступу https://saee.gov.ua/sites/default/files/Bioenergy_in_Ukraine_2021.pdf

13. Energy Community. Ukraine Energy Profile – Bioenergy Focus [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу:https://www.energy-community.org

14. Біопаливо з рослинної сировини: сучасний стан та перспективи [Електронний ресурс] // АгроЕліта. – 2023. – Режим доступу: https://agroelita.info/biopalyvo-z-roslynnoi-syrovyny

15. Проєкт BIOMASS. Біоенергетика в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.uabio.org