

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
Кафедра електропостачання**

«На правах рукопису»
УДК 621.311

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Д.Г. Дерев'янку

«___» _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

на тему: «Модернізація котельної заводу з виготовлення кормів»

Виконала:

студент 2-го року навчання, групи ОН-11мп

Сербенівський Юрій Костянтинович _____

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Бориченко О.В. _____

Консультант з нормоконтролю:

к.т.н., доц., Черкашина Г.І. _____

Рецензент:

к.т.н., доц. Босак А.В. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний
інститут імені Ігоря
Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Сербенівський Юрій Костянтинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема дисертації «Модернізація котельної заводу з виготовлення кормів»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко О.В.

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

затверджені наказом по університету від «__» листопада 2022 р. №__

2.Строк подання студентом дисертації 13 грудня 2022 року

3.Об'єкт дослідження Процеси енергоспоживання на заводі з виробництва тваринних кормів, паливно-енергетичні ресурси підприємства

4.Предмет дослідження Обладнання для виробництва теплової та електричної енергії з використанням твердої біомаси.

5.Перелік завдань, які потрібно розробити 1) проведення енергетичного обстеження підприємства; 2) аналіз технологій генерації енергії з використанням біомаси; 3) розроблення стартап проєкту;

6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми

7.Орієнтовний перелік публікацій _____

8.Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль *ас. Прокопенко І.Д.*

9.Дата видачі завдання 31 травня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Визначення мети, об'єкту, предмету дослідження		
2	Визначення попередньої структури дисертації		
3	Огляд літератури та робота над першим та другим розділом дисертації		
4	Аналіз підприємства з виробництва тваринних кормів, як споживача паливно-енергетичних ресурсів		
5	Розробка заходів з поліпшення енергетичної ефективності підприємства та аналіз доцільності переходу на опалення твердим біопаливом		
6.	Розробка стартап проекту		
7.	Оформлення дисертації		
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	30.11.21-10.12.21	
9.	Передзахист МД	10.12.21-14.12.21	
10.	Захист дисертації	20.12.21-22.12.21	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Модернізація котельної заводу з виготовлення кормів». Містить 99 сторінок основного тексту, 45 рисунків, 35 таблиць та 17 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми дослідження. Нестабільний стан речей в Україні та світі все більше загострюють питання диверсифікації енергопостачання. Імовірне зростання тарифів на газ і електроенергію та перебої з постачанням енергоресурсів змушують шукати шляхи забезпечення виробничих потужностей альтернативними видами енергоносіїв.

Мета і задачі дослідження. Сформування пропозиції щодо найбільш доцільної конфігурації обладнання для генерації теплової та електричної енергії з використанням твердої біомаси у вигляді палива на заводі з виробництва кормів для домашніх тварин.

Об'єкт дослідження. Процеси енергоспоживання на заводі з виробництва тваринних кормів, паливно-енергетичні ресурси підприємства.

Предмет дослідження. Обладнання для виробництва теплової та електричної енергії з використанням твердої біомаси.

Методи дослідження. Науково-методична основа дисертації складається з енергетичного обстеження підприємства та аналізу доступних технологій генерації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в одержанні результатів щодо можливості теплової та електричної генерації з використанням твердої біомаси на підприємствах харчової промисловості.

Практичне значення результатів полягає в реалізації запропонованих заходів щодо поліпшення енергоефективності, заміни обладнання та покращення роботи вже існуючого з метою диверсифікації постачання енергоресурсів та поліпшення енергорезультативності підприємства.

Ключові слова: КОГЕНЕРАЦІЯ, БІОПАЛИВО, ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ, СТАРТАП, ВИРОБНИЦТВО КОРМІВ.

ABSTRACT

Master's thesis on the topic: " Modernization of the boiler house of the feed production plant." Contains 99 pages of main text, 45 figures, 35 tables and 17 bibliographic titles in the list of references.

Relevance of the research topic. The unstable situation in Ukraine and the world is increasingly exacerbating the issue of diversification of energy supply. The probable increase in gas and electricity tariffs and interruptions in the supply of energy resources force to look for ways to provide production capacity with alternative types of energy.

The purpose and objectives of the study. Formation of a proposal for the most appropriate configuration of equipment for generating heat and electricity using solid biomass as fuel at a pet food plant.

Object of study. Processes of energy consumption at the plant for the production of animal feed, fuel and energy resources of the enterprise.

Subject of study. Equipment for the production of heat and electricity using solid biomass.

Research methods. The scientific and methodological basis of the dissertation consists of an energy survey of the enterprise and analysis of available generation technologies.

The scientific novelty of the obtained results obtained is the results obtained on the possibility of heat and electricity generation using solid biomass in the food industry.

The practical significance of the results lies in the implementation of the proposed measures to improve energy efficiency, replacement of equipment and improvement of existing equipment in order to diversify energy supplies and improve the energy efficiency of the enterprise..

Key words: COGENERATION, BIOFUELS, BIOMASS TECHNOLOGIES, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY MANAGEMENT, STARTUP, FEED PRODUCTION.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ВИДІВ ПАЛИВА ТА ГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ	10
1.1 Огляд альтернативних видів палива	10
1.1.1 Лісові залишки та відходи деревини.....	10
1.1.2 Пожнивні рештки	12
1.1.3 Енергетичні культури	13
1.1.4 Міські деревні відходи.....	13
1.1.5 Звалищний газ.....	14
1.1.6 Біогаз з очищених стічних вод	15
1.1.7 Відходи харчової промисловості.....	16
1.2 Підготовка біопалива до використання	16
1.3 Технології спалювання біомаси	18
1.3.1 Системи прямого спалювання.....	19
1.3.2 Твердопаливні котли.....	20
1.3.3 Газифікація	25
1.3.4 Газифікатори	27
1.4 Когенераційні установки на біопаливі	32
1.4.1 Парові турбіни.....	34
1.4.2 Газові турбіни	35
1.4.3 Мікротурбіни	38
1.4.4 Поршневі двигуни внутрішнього згоряння.....	40
РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА З ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМІВ	43
2.1 Стислий опис об'єкту	43
2.2 Аналіз виробничої діяльності та споживання ПЕР підприємством 43	
2.3 Аналіз тарифної політики підприємства	48
2.4 Виробництво продукції	49
2.5 Графіки навантаження	52
2.6 Кореляційний аналіз і базовий рівень	55
2.7 Енергетичний баланс	59
2.8 Основне енергоспоживаюче обладнання заводу	63
Висновки до розділу 2	65

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА	67
3.1 Розрахунок заходу із заміни котла.....	67
3.2 Переведення газової сушарки на тверде паливо	70
3.3 Захід із встановлення когенераційної установки (КГУ)	75
3.4 Використання води після автоклавів	78
3.5. Генерація СЕС	80
Висновки до розділу 3	84
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ КОТЕЛЬНОЇ»	85
4.1 Опис ідеї проекту.....	85
4.2 Перелік та аналіз можливих заходів з енергоефективності.....	87
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	88
4.4 Організація реалізації стартап проекту	92
ВИСНОВОК	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	97

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КТУ – когенераційна установка

ГВП – гаряче водопостачання

ДСТУ – державний стандарт України

ПЕР – паливно енергетичні ресурси

ІЗ – іскрове запалення

ЦКШ – циркулюючий киплячий шар

ВСТУП

Метою магістерської дисертації є формування пропозиції щодо найбільш доцільної конфігурації обладнання для генерації теплової та електричної енергії з використанням твердої біомаси у вигляді палива на заводі з виробництва кормів для домашніх тварин. Імовірне зростання тарифів на газ і електроенергію та перебої з постачанням енергоресурсів змушують шукати шляхи забезпечення виробничих потужностей альтернативними видами енергоносіїв, тож у даній роботі розглядається можливість диверсифікації постачання енергоресурсів шляхом забезпечення промислового підприємства власними генеруючими потужностями.

Основними задачами дисертації є:

- Огляд доступних на сьогоднішній день технологій по виробництву теплової та електричної енергії із використанням біомаси у якості палива. Огляд заводу з виробництва тваринних кормів як споживача енергоресурсів та визначення основного енергоспоживаючого обладнання для складення паливно-енергетичного балансу.

- Вибір найбільш доцільного обладнання для впровадження використання біомаси з урахуванням характеру споживання підприємства.

- Складення пропозицій щодо поліпшення рівня енергорезультативності підприємства.

- Розробка стартап проєкту, який буде містити енергоаудит та реалізацію запропонованих заходів.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ВИДІВ ПАЛИВА ТА ГЕНЕРУЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Огляд альтернативних видів палива

Детальна та конкретна інформація про місцеві ресурси біомаси, доступні для забезпечення проекту паливом, має важливе значення перед тим, як серйозно розглядати можливість використання біомаси як основного енергетичного ресурсу на підприємстві. Наприклад, типовий вміст вологи (включаючи вплив варіантів зберігання), типова врожайність, сезонність ресурсу, близькість до місця виробництва енергії, проблеми, які можуть вплинути на майбутню доступність, якість палива та погодні умови - все це фактори, які необхідно враховувати при виборі палива з біомаси та визначенні техніко-економічної доцільності проекту.

Розглядаються наступні види біомаси:

Сільські ресурси:

- Лісові відходи та відходи деревини
- Пожнивні рештки
- Енергетичні культури

Міські ресурси:

- Міські деревні відходи
- Звалищний газ
- Біогаз з очищених стічних вод
- Відходи харчової промисловості

1.1.1 Лісові залишки та відходи деревини

Лісові рештки та деревообробні відходи є великим потенційним ресурсом для виробництва енергії і включають в себе рештки від лісоповалу, відходи від рубок догляду за лісом та первинні відходи при деревообробці. Незважаючи на те, що витрати на ці види палива зазвичай вищі, ніж на вугілля, вони знижують ціновий ризик за рахунок диверсифікації поставок палива; призводять до значно менших викидів діоксиду сірки (SO₂) та оксиду азоту (NO_x), ніж вугілля; і можуть легко спалюватися в сумісному спалюванні.

Лісові рештки визначаються як матеріал біомаси, що залишається в лісах, які були заготовлені на деревину, і за своїм складом майже ідентичні рубкам догляду за лісом. Оскільки тільки деревина певної якості може бути використана на лісопилках та інших переробних підприємствах, матеріал біомаси - лісові рештки - залишається в лісах в результаті лісозаготівельних операцій. Лісові відходи включають порубкові рештки, надлишкові дрібні стовбурові дерева, а також грубу або гнилу деревину. Ці відходи можуть бути зібрані після заготівлі деревини та використані для енергетичних цілей. Як правило, лісові рештки або залишаються в лісі, або утилізуються шляхом відкритого спалювання в рамках ведення лісового господарства. Основною перевагою використання лісових відходів для виробництва електроенергії є те, що в багатьох регіонах вже створена інфраструктура для збору деревини. Компанії, що займаються заготівлею деревини, вже мають обладнання та транспортні засоби, які можуть бути поширені на збір лісових відходів. За даними Державного агентства лісових ресурсів України найбільш розповсюдженими деревними породами в Україні є сосна (приблизно 33% від загальної площі лісів) та дуб, що відноситься до твердих порід (приблизно 24%) [11]. В таблиці 1.1 наведено характеристики відходів деревини.

Таблиця 1.1 - характеристика відходів деревини [8]

Показник	Тирса з хвойних порід	Тирса з твердих порід	Щепа
Вологість, %	30 - 50	30	50
Q _{нр} , ккал/кг	1935 - 2440	2960	1800 - 2850
Зольність, %	1 - 3	1 - 3	1 - 3

Первинні відходи - це відходи деревини від виробничих операцій, які в іншому випадку були б відправлені на звалище. Виробничі операції, які утворюють відходи виробництва, зазвичай притаманні лісопильним, целюлозно-паперовим та іншим деревообробним підприємствам, що займаються виробництвом пиломатеріалів, целюлози, шпону та інших композитних деревоволокнистих матеріалів. Первинні відходи лісопиляння

зазвичай мають форму кори, стружки, шліфувального пилу, обрізків, тирси або плит. На відміну від лісових решток первинні відходи - це зазвичай більш якісна деревина з меншим вмістом вологості та більшою енергетичною цінністю.

1.1.2 Пожнивні рештки

Сільське господарство є основною економічною діяльністю в Україні, де приблизно 19821 тис. га сільськогосподарських угідь в даний час використовуються для сільськогосподарського виробництва, що складає .41,5% від площі країни [10]. Найбільш поширеними сільськогосподарськими культурами (з точки зору середньої загальної площі посівів) є пшениця, ячмінь, ріпак, вівсо, горох, гречка, просо і кукурудза [14]. Після збирання багатьох традиційних сільськогосподарських культур, таких як кукурудза та пшениця, на полях залишаються залишки, такі як стебла, листя та качани, які називаються кукурудзяною та пшеничною соломою. Частина цих залишків потенційно може бути зібрана і спалена для виробництва енергії. Рештки сільськогосподарської діяльності в якості палива зазвичай застосовують у вигляді паливних гранул або брикетів, теплотворна характеристика брикетів із різних видів сільгосп відходів наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - характеристика паливних брикетів [17]

Вид палива	ккал/кг	Зольність, %
Брикети з ріпакового відходів	4400	5,00
Брикети з пшеничної соломи	4100	8,00
Брикети з гречаної соломи	4800	1,5 - 6,0
Брикети з житньої соломи	4200	8,00
Брикети з стебел соняшнику	4300	4,30
Брикети з лущиння соняшнику, сої	4500	4,00
Брикети з качанів кукурудзи, стебел	3800	3,00

1.1.3 Енергетичні культури

Енергетичні культури - це багаторічні трави та дерева, що вирощуються за допомогою традиційних сільськогосподарських методів, які в першу чергу використовуються як сировина для виробництва енергії. Для вирощування таких культур використовуються Потенціал енергетичних культур в Україні оцінюється у 7450 тис. т/рік, з яких 4880 тис. т складають культури для отримання твердого біопалива (верба, тополя, міскантус) та 2570 тис. т/рік силосу на біогаз. В таблиці 1.3 наведено характеристики енергетичних культур у якості палива.

Таблиця 1.3 - характеристика енергетичних культур [8]

Показник	Верба	Тополя	Міскантус
Вологість на стадії збору, %	50	50 - 55	15 - 20
Q _{нр} , ккал/кг	4400	4450	4500
Вміст летких речовин, %	79	83	>78
Зольність, %	1,5 - 2	0,5 - 2	2 - 4

Аналіз статистичної інформації свідчить про те, що в Україні щорічно наявні незадіяні сільгосп землі площа яких складає від 3 до 5 млн. га та може бути у перспективі використана для вирощування енергетичних культур. Наразі в Україні проекти з виробництва енергетичних культур для подальшого отримання теплової енергії знаходяться на межі рентабельності і тому потребують державного субсидіювання.

1.1.4 Міські деревні відходи

Міські деревні відходи включають обрізки з подвір'я; дерев'яні будівельні та дерев'яні відходи будівництва та знесення; відходи розчищення території; а також піддони, дерев'яну упаковку, меблі та інші різні комерційні та побутові дерев'яні відходи, які, як правило, утилізуються на муніципальних полігонах твердих побутових відходів або звалищах будівництва та знесення. Міські деревні відходи є по всій території України, але вони в основному зосереджені в густонаселених районах. Витрати на деревні відходи можуть бути нижчими,

ніж на інші види біомаси, оскільки деревні відходи, які спалюються з метою виробництва енергії, зазвичай компенсують витрати на утилізацію, які в іншому випадку не були б пов'язані з їх захороненням на полігонах. Таким чином, деякі міські деревні відходи можуть фактично збиратися з від'ємною собівартістю. Одним з недоліків використання міських деревних відходів для виробництва енергії є те, що деревина, яка використовується для будівництва та виготовлення споживчих дерев'яних виробів, може містити високий рівень домішок, спричинених хімічною обробкою для подовження терміну служби деревини. Ці домішки можуть спричинити проблеми з викидами при спалюванні і можуть вимагати, щоб котли на деревних відходах мали додаткове обладнання для фільтрації та контролю, щоб обмежити викиди забруднюючих речовин, або вимагатимуть ефективного відокремлення забруднених предметів перед спалюванням.

1.1.5 Звалищний газ

Звалищний газ утворюється в результаті розкладання органічних відходів в анаеробних (позбавлених кисню) умовах на об'єктах захоронення твердих побутових відходів, широко відомих як звалища. За оцінками, з усіх антропогенних джерел викидів метану на полігони припадає найбільша кількість викидів з однієї категорії джерел - 25 відсотків від загальної кількості. Кількість метану, що утворюється на полігоні протягом терміну його експлуатації, залежить від складу відходів, кількості та вологості відходів, а також від проектування та методів управління об'єктом. Полігони з більшою кількістю відходів, як правило, з часом виробляють більше газу, ніж полігони з меншою кількістю відходів. Якщо не брати до уваги інші фактори, полігони в більш сухих регіонах не виробляють стільки газу, як полігони в районах, де випадає більше опадів, оскільки волога є необхідним компонентом для розкладання відходів. Потенціал газоутворення на полігоні залежить від розміру об'єкта (обсягу відходів), клімату, в якому він розташований, та інших специфічних характеристик полігону. Значне утворення звалищного газу, як правило, починається приблизно через один-два роки після розміщення маси

відходів і продовжує розвиватися з цієї маси з експоненціально спадаючою швидкістю протягом 10-60 років, в залежності від умов полігону. У сухому вигляді звалищний газ в основному складається з 50% метану та 50% CO₂, що призводить до теплотворної здатності приблизно 30 000 кДж/год. Незначні кількості азоту, кисню та водню, а також сліди неорганічних сполук, таких як сірководень (який має сильний запах), також містяться в звалищному газі. Через різний склад звалищного газу на різних полігонах (в першу чергу, через різницю у відносній кількості метану та CO₂).

1.1.6 Біогаз з очищених стічних вод

Біогаз зі стічних вод виробляється шляхом анаеробного зброджування осаду побутових/промислових стічних вод. Під час процесу очищення стічних вод тверді речовини, що утворюються в результаті первинної та вторинної очистки, збираються та додатково обробляються шляхом зброджування для стабілізації та зменшення об'єму осаду. Зброджування здійснюється або аеробно (у присутності кисню), або анаеробно (без кисню) для отримання біогазу. Анаеробне зброджування та очищення стічних вод відбувається в закритому або критому резервуарі, щоб виключити доступ повітря або кисню до відходів. Анаеробна обробка історично використовувалася для біологічної стабілізації високомісних відходів при низьких витратах. У багатьох випадках біогаз не використовувався як енергетичний ресурс, а спалювався в факелі і викидався в атмосферу. Біогаз також утворюється в результаті інших процесів анаеробного очищення стічних вод, включаючи анаеробні лагуни та факультативні лагуни.

Біогаз, що утворюється при очищенні стічних вод, складається приблизно з 55-65 відсотків метану, 30 відсотків CO₂ та інших інертних газів, таких як азот. Такий склад призводить до теплотворної здатності приблизно від 35 000 до 40 000 кДж/год. Сьогодні більшість очисних споруд, які використовують анаеробне зброджування, збирають і використовують свій біогаз на місці. У разі використання на місці, біогаз, що утворюється в процесі анаеробного зброджування, як правило, збирається і використовується, часто без

попередньої обробки, в котлах, які виробляють пару для опалення приміщень і метантенків, а також в поршневих двигунах, які приводять в дію повітряні компресори та/або електрогенератори. Будь-який надлишок біогазу, який не може бути використаний на місці, як правило, спалюється в факелі.

1.1.7 Відходи харчової промисловості

Відходи харчової промисловості використовуються по всій країні як сировина для виробництва енергії з біомаси. До таких відходів відносяться:

- Горіхова шкаралупа
- Залишки переробки м'яса
- Фруктові кісточки
- Сирна сироватка

Відходи харчової промисловості може бути важко використовувати як джерело палива через різні характеристики та властивості різних потоків відходів. Таким чином, більшість харчових відходів в даний час утилізуються як промислові стічні води і скидаються на місцеві очисні споруди. Разом з тим, у харчовій промисловості ведеться робота з оцінки енергетичного ресурсу цих відходів, а також з розробки методів збору та переробки, які б дозволили більш ефективно використовувати цей ресурс біомаси.

1.2 Підготовка біопалива до використання

Перш ніж використовувати біомасу для виробництва електроенергії або пари, її необхідно підготувати, забезпечити умовами зберігання та транспортувати до процесу спалювання. У цьому розділі описано вимоги та витрати на підготовку твердого палива з біомаси та біогазу для виробництва електроенергії.

Етапи підготовки, зберігання та транспортування сировини з біомаси вимагають облаштування заготівельного майданчика (заготівельний майданчик). Основні вимоги до стандартного заготівельного майданчика можна розділити на чотири категорії:

1. Приймання: самоскид, конвеєр та радіальний штабелер

2. Переробка: конвеєр, металосепаратор, сушарка, просіювач та дробарка
3. Буферне зберігання: склад тимчасового зберігання (24 години)
4. Конвеєри обліку палива, лічильники та пневмотранспорт

Система переробки обробляє біомасу перед подачею до процесу спалювання. Загальні етапи обробки включають сепарацію, сортування, видалення металів та інших негорючих матеріалів, а також подрібнення або інші методи зменшення розміру. Автоматизована система подає потрібну кількість біомаси, необхідну для процесу перетворення енергії.

Обладнання для визначення розмірів відокремлює великогабаритні шматки і підбирає їх відповідно до специфікацій котла. Дисковий просіювач відокремлює великогабаритні частинки і пропускає сировину меншого розміру. Великогабаритні частинки направляються на подрібнювач, щоб мати належний розмір. Дробарка підходить для деревної тріски та кори, але міські деревні відходи потребують молоткової дробарки, оскільки металеві предмети в цьому потоці відходів можуть пошкодити дробарку. З дробарки або подрібнювача матеріал потрапляє до сховища, де зберігається до тих пір, поки котлу не знадобиться паливо. Котли з циркулюючим киплячим шаром можуть завантажувати матеріал розміром до 5 – 10 см.

Біомаса може також підлягати сушінню. При необхідності, цей етап відбувається відразу після визначення розміру. Для всіх технологій перетворення біомаси, чим нижча вологість вихідної біомаси на момент спалювання, тим вища енергетична ефективність процесу. Якщо частина палива - волога, то її необхідно нагріти і випарувати, і ця енергія втрачається в димоході. У процесах з прямим спалюванням, кожні додаткові 10 відсотків вологи в паливі знижують ефективність спалювання в котлі приблизно на 2 відсотки. Таким чином, отримана біомаса з вмістом вологи від 30 до 50 відсотків призводить до зниження ефективності процесу на 6-10 відсотків порівняно з сухою сировиною. Зниження ефективності через вологу, що міститься в біомасі, також відбувається при сумісному спалюванні (процес спалювання в котлі біомаси разом з традиційним паливом), але ефект значно зменшується, оскільки біомаса становить лише невелику частину від

загального обсягу використовуваного палива. Однак, типовою практикою при прямому та сумісному спалюванні є відсутність сушіння сировини перед завантаженням в котел. У добре спроектованому котлі більша частина доступного тепла димової труби вже вилучається при виробництві пари та інших варіантах рекуперації енергії. Таким чином, відвід тепла димової труби від процесу сушіння зменшить кількість тепла, доступного для виробництва пари. З іншого боку, процеси газифікації, як правило, вимагають сушіння біомаси для належного функціонування та контролю процесу.

1.3 Технології спалювання біомаси

Основними технологіями перетворення біомаси у електричну та теплову енергію є системи прямого спалювання та системи газифікації. В рамках категорії прямого спалювання конкретні технології включають топкові котли, котли з циркулюючим киплячим шаром та котли спільного спалювання. У категорії газифікації конкретні технології включають газифікатори з нерухомим шаром і газифікатори з киплячим шаром.

Електростанції, що працюють на біомасі, як правило, мають потужність менше 50 МВт, у порівнянні з вугільними електростанціями, які знаходяться в діапазоні від 100 до 1000 МВт. Більшість сучасних електростанцій, що працюють на біомасі, є системами прямого спалювання. Паливо з біомаси спалюється в котлі для виробництва пари високого тиску, яка використовується для живлення електрогенератора, що приводиться в дію паровою турбіною. У багатьох випадках пара відбирається з турбіни при середніх тисках і температурах і використовується для технологічних процесів, опалення або охолодження приміщень.

Системи газифікації біомаси працюють шляхом нагрівання біомаси в середовищі, де тверда біомаса розкладається з утворенням горючого газу. Вироблений газ - синтез-газ - може бути очищений, відфільтрований, а потім спалений в газовій турбіні в режимі простого або комбінованого циклу, що можна порівняти з звичайним газом або біогазом, виробленим в анаеробному зброджуванні. У менших системах синтез-газ може спалюватися в поршневих

двигунах, мікротурбінах або паливних елементах. В таблиці 1.4 стисло наведені основні технології.

Таблиця 1.4 - Технології спалювання біомаси

Технологія	Поширені види палива	Розмір подачі, см	Вміст вологи, %	Діапазон потужності
Топкові котли з колосниковою решіткою	Тирса, кора, тріска, стружка, обрізки, пил від шліфувальних машин	0,5 - 5	10 - 50	4 - 300 МВт (Більшість в діапазоні 20 - 50 МВт)
Котли з ЦКШ	Відходи деревини, торф, різноманітні види палива	< 5	< 60	до 300 МВт (Більшість в діапазоні 20 - 25 МВт)
Сумісне спалювання— Котли на пиловугільному паливі	Тирса, кора, стружка, пил від шліфувальних машин	< 0,5	< 25	До 1000 МВт
Сумісне спалювання — топкові котли з ЦКШ	Тирса, кора, стружка, суміш деревних відходів	< 5	10 - 50	До 300 МВт
Газифікатор з нерухомим шаром	Колота деревина або суміш деревних відходів, мул, осад стічних вод	0,5 – 10	< 20	До 50 МВт
Газифікатор з киплячим шаром	Більша частина видів деревини та сільськогосподарських відходів	0,5 – 5	15 - 30	До 25 МВт

Окремо варто згадати модульні системи, що використовують деякі з тих же технологій, що згадані вище, але в менших масштабах, і більше підходять для фермерських господарств, інституційних будівель і невеликих промислових підприємств.

1.3.1 Системи прямого спалювання

Сьогодні котли спалюють різноманітні види палива і продовжують відігравати важливу роль в опаленні промислових процесів, комерційному та

інституційному опаленні, а також виробництві електроенергії. Котли розрізняються за своєю конфігурацією, розміром і якістю виробленої пари або гарячої води. Розмір котла найчастіше вимірюється споживанням палива в МДж на годину (МДж/год), але він також може вимірюватися продуктивністю в кілограмах пари на годину. Оскільки великі котли часто використовуються для виробництва електроенергії, також може бути корисним пов'язати розмір котла з потужністю в електрогенеруючих установках.

Два найбільш поширених типи котлів для спалювання біомаси - це котли, що працюють на твердому паливі, та котли з циркулюючим киплячим шаром. Будь-який з них може працювати повністю на біомасі або на сумісному спалюванні біомаси та вугілля.

1.3.2 Твердопаливні котли

Твердопаливні котли використовують пряме спалювання твердого палива з надлишком повітря з утворенням гарячих димових газів, які потім виробляють пару в теплообмінній частині котла. Пара використовується безпосередньо для опалення, технологічних процесів або пропускається через паротурбінний генератор для виробництва електроенергії.

Сучасні механічні топки складаються з чотирьох елементів:

- 1) системи подачі палива
- 2) стаціонарної або рухомої колосникової решітки, яка підтримує паливо, що горить, і забезпечує шлях повітрю для горіння
- 3) системи наддуву, яка подає додаткове повітря для завершення горіння і мінімізації викидів в атмосферу
- 4) системи вивантаження золи.

Успішна установка котла вимагає вибору правильного розміру і типу котла для палива, що використовується, а також для умов навантаження і потужності, що обслуговується. Котельні котли, як правило, описуються за методом додавання та розподілу палива. Існує два основних типи систем - з нижньою і верхньою подачею палива. Котли з нижньою подачею подають паливо і повітря з-під колосникової решітки, в той час як котли з верхньою

подачею подають паливо зверху колосникової решітки, а повітря знизу. На рисунку 1.1 схематично зображено подачу палива та повітря в котел з нижньою подачею.

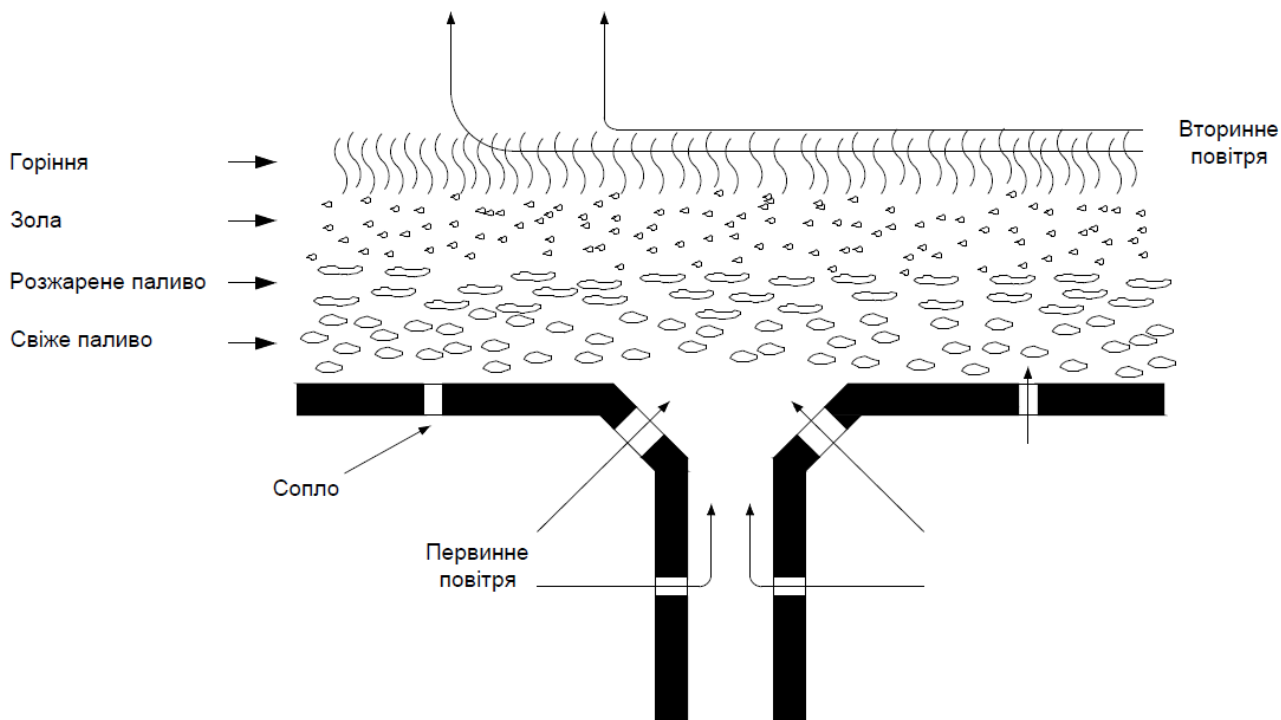


Рисунок 1.1 - топка з нижньою подачею палива

Топки з нижньою подачею подають як паливо, так і повітря для горіння з-під колосникової решітки, щоб верхня частина шару палива не охолоджувалася холодним і вологим паливом або холодним повітрям. Коли паливо рухається по колосниковій решітці, де воно піддається впливу повітря і променистого тепла, воно починає горіти і передавати тепло водяним трубам. Як і в будь-якому процесі горіння, зола накопичується в міру того, як паливо спалюється. Існує два основних типи завантажувальних пристроїв з підживленням:

- 1) з горизонтальною подачею і бічним вивантаженням золи
- 2) з гравітаційною подачею і заднім вивантаженням золи.

Топки з нижньою подачею найкраще підходять для відносно сухого палива (з вологістю менше 40-45%).

Топки з верхньою подачею, як правило, класифікуються за способом розподілу і спалювання палива в котлі. На рисунку 1.2 схематично зображено подачу палива та повітря в котел з верхньою подачею.

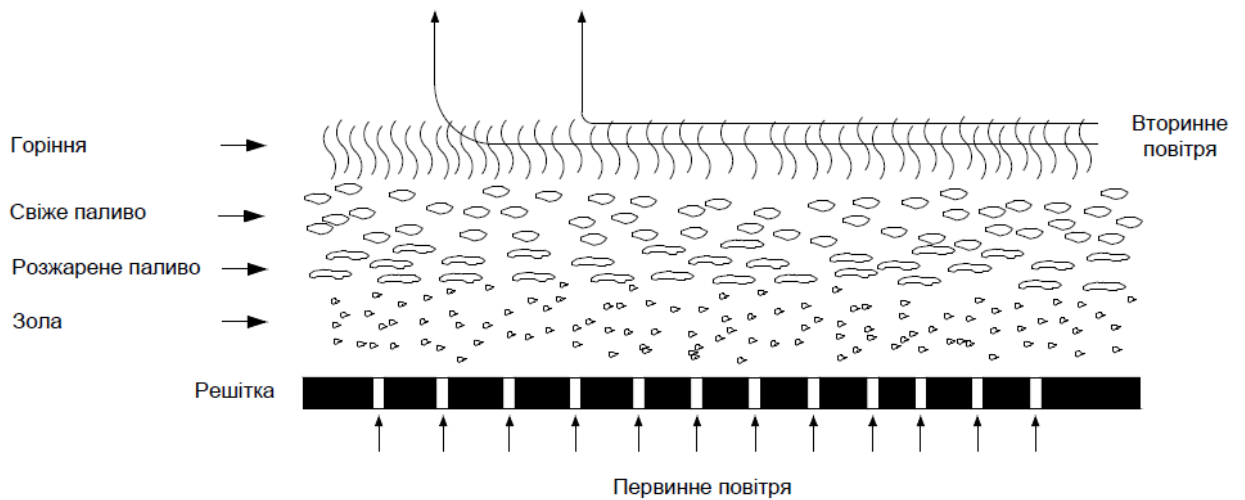


Рисунок 1.2 - Топка з верхньою подачею палива

Топки з масовою подачею подають паливо безперервно з одного кінця колосникової решітки. У міру просування в котел паливо потрапляє на колосникову решітку під дією сили тяжіння. Для регулювання кількості палива, що надходить в котел, можна переміщати шибер вгору або вниз, або регулювати швидкість, з якою паливо рухається під шибером. Усередині котла паливо згорає в міру його переміщення по колосникових ґратах. Повітря для горіння надходить вгору з-під колосникових ґрат і проходить через палаючий шар палива, забезпечуючи повне згоряння. Зола, що залишається на колосниковій решітці, виводиться з протилежного кінця системи. Два основних типи колосникових решіток:

- 1) вібраційна колосникова решітка з водяним охолодженням
- 2) колосникові решітки з рухомими (ланцюговими і пересувними) решітками.

Ще одним типом котлів є котли з псевдозрідженим шаром. Котли з псевдозрідженим шаром - це найновіший тип котлів, розроблений для спалювання твердого палива. Основною рушійною силою для розвитку спалювання в киплячому шарі є зменшення викидів SO_2 та NO_x при спалюванні вугілля. У міру розвитку технології стало очевидним, що цей процес може ефективно спалювати біомасу та інші низькосортні види палива, які важко або недоцільно спалювати традиційними методами.

При цьому методі спалювання паливо спалюється в шарі гарячих інертних, або негорючих, частинок, зважених висхідним потоком повітря для горіння, який впорскується з нижньої частини топки для підтримки шару в плаваючому або "псевдозрідженому" стані. Очищувальна дія матеріалу шару на паливо покращує процес горіння, видаляючи CO₂ і тверді залишки (вугілля), які зазвичай утворюються навколо частинок палива. Цей процес дозволяє кисню легше досягати горючого матеріалу і збільшує швидкість і ефективність процесу горіння. Однією з переваг змішування в псевдозрідженому шарі є те, що воно дозволяє створити більш компактку конструкцію, ніж у звичайних водяних котлах. Природний газ або мазут можуть також використовуватися в якості пускового палива для попереднього розігріву киплячого шару або в якості допоміжного палива, коли потрібно додаткове тепло. Ефективне перемішування шару робить котли з киплячим шаром добре придатними для спалювання твердих побутових відходів, деревних відходів, відходів вугілля та інших нестандартних видів палива. Процес спалювання в киплячому шарі забезпечує ефективне змішування палива з повітрям для горіння. При введенні палива в шар воно швидко нагрівається вище температури займання, запалюється і стає частиною маси, що горить. Потік повітря і палива в щільний шар контролюється таким чином, щоб в секцію печі на безперервній основі виділялася потрібна кількість тепла. Як правило, біомаса спалюється з 20-відсотковим або вище надлишком повітря. Лише невелика частина шару є горючим матеріалом, решта складається з інертного матеріалу, такого як пісок. Цей інертний матеріал забезпечує великий запас тепла в топковій секції, пом'якшуючи вплив короточасних коливань подачі палива або теплоти згоряння на паропродуктивність котла.

Паливо з високим вмістом золи, сірки та азоту може ефективно спалюватися в котлах з киплячим шаром при дотриманні жорстких обмежень на викиди. Завдяки тривалому часу перебування і високій інтенсивності масообміну паливо може ефективно спалюватися в топці з киплячим шаром при температурах, значно нижчих, ніж у традиційних процесах спалювання.

Котли з киплячим шаром поділяються на атмосферні та котли під тиском. Атмосферні котли з киплячим шаром поділяються на котли з киплячим і циркуляційним шаром, принципова відмінність між котлами з киплячим і циркуляційним шаром полягає в швидкості псевдозрідження (вища для циркуляційних). Циркуляційні котли з киплячим шаром відокремлюють і вловлюють тверді частинки палива, що потрапляють у високошвидкісні відхідні гази, і повертають їх в шар для повного згоряння. Котли з киплячим шаром при атмосферному тиску найчастіше використовуються з паливом з біомаси. Тип псевдозрідженого шару залежить від заданої теплоти згоряння біомаси. Технологія киплячого шару, як правило, обирається для палива з нижчою теплотворною здатністю. Циркулюючий шар є найбільш придатним для палив з більш високою теплотворною здатністю.

У котлі з псевдозрідженим шаром під тиском весь пальник киплячого шару знаходиться всередині великої посудини під тиском. Зведена порівняльна інформація наведена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - порівняння типів котлів

Характеристика	Тип котла	
	Топковий	З псевдозрідженим шаром
1	2	3
Механізм спалювання		

1	2	3
Потік палива	Надходить у топку	Зріджується повітрям та циркулює в камері згоряння
Зона спалювання	На колосниковій решітці	Вся зона камери згоряння
Тепло масообмін	Повільний	Активний
Контроль спалювання		
Швидкість дії	Повільно	Швидко
Контроль надлишкового повітря	Складно	Можливо
Паливо		
Можливість застосування різних видів палива	Помірна	Висока
Підготовка палива	Не потрібна	Вимагає подрібнення

При спалюванні твердого палива в котлі з киплячим шаром під тиском утворюється потік продуктів згоряння під високим тиском. Після того, як продукти згоряння проходять через систему очищення гарячих газів, вони подаються в газову турбіну для вироблення електроенергії, а тепло, що міститься в гарячому потоці відпрацьованих газів, може бути утилізовано на виробництво пари для парової турбіни. Тому котел з киплячим шаром під тиском є більш ефективним, але і більш складним і дорогим.

1.3.3 Газифікація

Газифікація біомаси для виробництва електроенергії передбачає нагрівання твердої біомаси в середовищі, позбавленому кисню, для отримання газу з низькою або середньою теплотворною здатністю. Залежно від вмісту вуглецю і водню в біомасі та властивостей газифікатора, теплотворна здатність синтез-газу може коливатися від 6000 до 30000 кДж/год (від 10 до 50 відсотків теплоти згоряння природного газу). Теплота згоряння синтез-газу, як правило, складається з CO та водню, що утворюються в процесі газифікації. Решта складових - це переважно CO₂ та інші негорючі гази. Газифікація біомаси має певні переваги перед прямим спалюванням біомаси, оскільки газ може бути очищений і відфільтрований для видалення проблемних хімічних

сполук перед його спалюванням. Газифікація також може бути здійснена за допомогою хімічних речовин або біологічної дії (наприклад, анаеробного зброджування), однак, термічна газифікація наразі є єдиним комерційним або близьким до комерційного варіантом.

Паливо, отримане в результаті процесу газифікації, зазвичай називається синтез-газом, хоча в загальному вжитку його можуть називати деревним газом або біогазом. Синтез-газ може бути отриманий шляхом прямого нагрівання в середовищі з недостатнім вмістом кисню, часткового окислення або непрямого нагрівання за відсутності кисню. Більшість процесів газифікації включає кілька етапів. Первинний процес перетворення, який називається піролізом, являє собою термічне розкладання твердої біомаси (у середовищі, позбавленому кисню) з утворенням газів, рідин (гудрону) і вугілля. Піроліз вивільняє леткі компоненти біомаси при температурі близько 593 °C через серію складних реакцій. Паливо з біомаси є ідеальним вибором для піролізу, оскільки воно містить дуже багато летких компонентів (від 70 до 85 відсотків на сухій основі, порівняно з 30 відсотками для вугілля). Наступний крок передбачає подальший процес газифікації, який перетворює залишки смол і вугілля в СО за допомогою пари та/або часткового спалювання. При газифікації вугілля в якості окислювача перевага надається чистому кисню або збагаченому киснем повітрю, оскільки отриманий в результаті синтез-газ має вищу теплотворну здатність, а сам процес є більш ефективним. При газифікації біомаси кисень, як правило, не використовується, оскільки зола біомаси має нижчу температуру плавлення, ніж вугільна зола, а також тому, що масштаби установок, як правило, менші.

У газифікації палива є ряд переваг:

- Газоподібне паливо є більш універсальним, ніж тверде паливо. Його можна використовувати в котлах, технологічних нагрівачах, турбінах, двигунах і паливних елементах, розподіляти в трубопроводах і змішуватися з природним газом або іншими газоподібним паливом.

- Газифікація може видалити паливні забруднювачі і зменшити викиди в порівнянні з системами прямого спалювання.

- Газифікація може бути розроблена для обробки широкого спектру біомаси, від деревних залишків до сільськогосподарських відходів і спеціальних культур, без значних змін в основному процесі.

- Газифікація може бути використана для переробки відходів палива, забезпечуючи безпечне видалення біонебезпечних речовин і захоплення важких металів, перетворюючи сировину в екологічно безпечний шлак.

- Газоподібне паливо може використовуватися у високоефективній системі виробництва електроенергії, такій як газотурбінний комбінований цикл або паливні елементи, за умови його очищення від забруднень. Коли додається обладнання для утилізації тепла з вихлопних газів турбіни, ефективність системи може зрости до 80 відсотків.

Подібно до процесів прямого спалювання, описаних у попередньому розділі, з'явилося два основних типи газифікаторів: з нерухомим шаром і з псевдозрідженим шаром. Газифікатори з нерухомим шаром, як правило, простіші, дешевші і виробляють синтез-газ з меншим вмістом тепла. Газифікатори з псевдозрідженим шаром є складнішими, дорожчими і виробляють синтез з вищою теплотою згоряння.

1.3.4 Газифікатори

Газифікатори також поділяються на газифікатори з нерухомим шаром та зі зрідженим. Газифікатори з нерухомим шаром зазвичай мають нерухому решітку всередині шахти з вогнетривкою футеровкою. Свіже паливо з біомаси, як правило, розміщується поверх купи палива, вугілля та золи всередині газифікатора. Подальша відмінність базується на напрямку потоку повітря (або кисню): низхідний потік (повітря тече вниз через шар і виходить у вигляді біогазу під колосниковою решіткою), висхідний потік (повітря тече вгору через колосникову решітку і біогаз збирається над шаром) або перехресний потік (повітря тече через шар, виходячи у вигляді біогазу). Схеми секцій газифікаторів з нерухомим шаром біогазу наведені на рисунку 1.3 для газифікатору з низхідним потоком повітря та рисунку 1.4 для газифікатора з висхідним потоком відповідно.

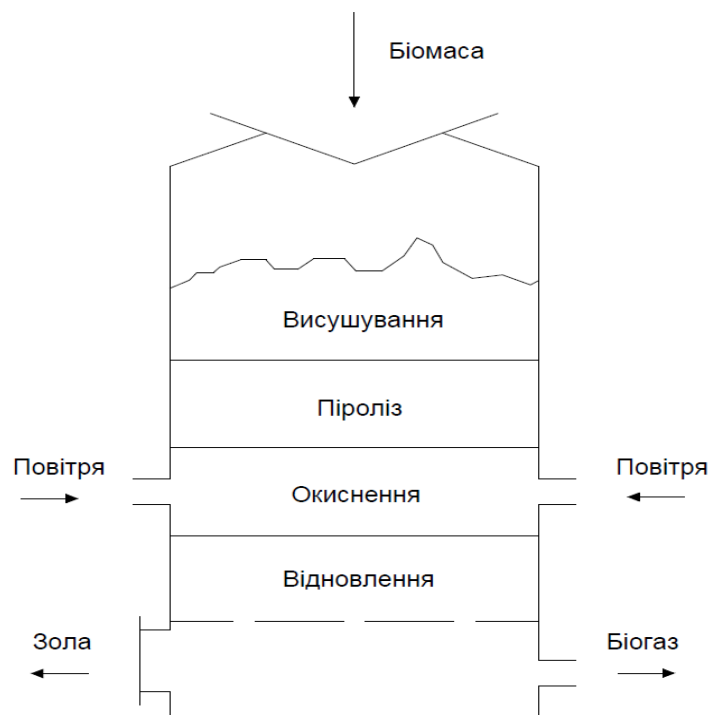


Рисунок 1.3 - газифікатор з низхідним потоком

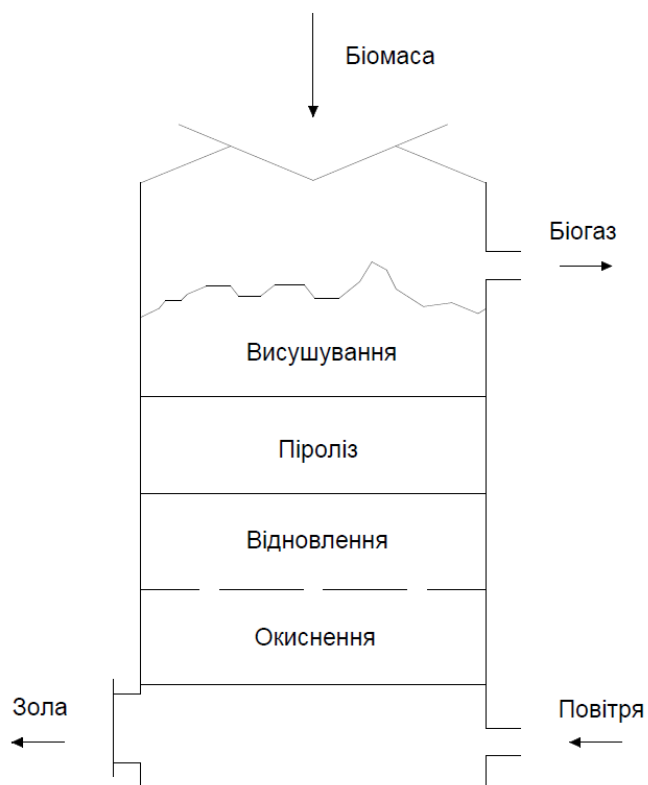


Рисунок 1.4 - газифікатор з висхідним потоком

У таблиці 1.6 порівнюються типи газифікаторів з нерухомим шаром.

Таблиця 1.6 - порівняння газифікаторів з нерухомим шаром

Характеристика	Тип газифікатора		
	Низхідний	Висхідний	Зі змішаним потоком
Функціонування	Біомаса вводиться зверху і рухається вниз. Окислювач (повітря) водиться зверху і рухається вниз. Синтез-газ відбирається внизу на рівні колосникової решітки.	Біомаса вводиться зверху і рухається вниз. Окислювач вводиться знизу і рухається вгору. Відбувається сушка. Синтез газ витягується вгорі.	Біомаса вводиться зверху і рухається вниз. Окислювач вводиться знизу і рухається поперек шару. Синтез-газ відбирається навпроти повітряного патрубка на колосниковій решітці.
Плюси	Вміст смол і твердих частинок в синтез-газі нижче, що дозволяє використовувати його безпосередньо в деяких двигунах без очищення. Решітка не піддається впливу високих температур.	Може працювати з більш вологою біомасою. Більш високі температури можуть руйнувати деякі токсини і шлакові мінерали та метал. Більш високий вміст смоли збільшує теплотворну здатність.	Найпростіша конструкція. Більш сильна циркуляція в гарячій зоні. Більш низькі температури дозволяють використовувати менш дорогі будівельні матеріали.
Мінуси	Біомаса повинна бути дуже сухою (вміст вологи <20%). Синтетичний газ гарячий, і його необхідно охолоджувати, якщо потрібне стиснення або інтенсивне очищення. Приблизно від 4 до 7 відсотків вуглецю не перетворюється і залишається в золі.	Підвищений вміст смоли може призвести до забруднення двигунів або компресорів. Решітка піддається впливу високих температур і повинна бути охолоджена або захищена іншим чином.	Більш складні в експлуатації. Наявні проблеми зі шлакуванням. Високий вміст вуглецю (33%) в золі.

Газифікатори з нерухомим шаром зазвичай мають обмежену потужність і зазвичай використовуються для генеруючих систем, які здатні виробляти менше 5 МВт. Фізика шахтного реактора з вогнетривкою футеровкою

обмежує діаметр і, таким чином, пропускну здатність. Розробники виявили хорошу відповідність між газифікаторами з нерухомим шаром і обладнанням для малої розподіленої генерації електроенергії. Однак, змінна економічність збору та подачі біомаси в поєднанні з низькою ефективністю газифікатора роблять економічну життєздатність технології особливо специфічною для конкретного місця.

Газифікатори з псевдозрідженим шаром використовують ті ж процеси газифікації і пропонують більш високу продуктивність, ніж системи з нерухомим шаром, але з більшою складністю і вартістю. Подібно до котлів з киплячим шаром, процес первинної газифікації відбувається в шарі гарячих інертних матеріалів, що суспендуються висхідним рухом позбавленого кисню газу. Коли кількість газу збільшується для досягнення більшої продуктивності, шар починає левітувати і стає "псевдозрідженим". Для подальшого поліпшення теплопередачі часто використовують пісок або глинозем. Помітними перевагами пристроїв псевдозрідженого шару є їх висока продуктивність (на площу шару) і гнучкість.

Газифікатори з псевдозрідженим шаром також можуть працювати з більш широким спектром біомаси з вмістом вологи в середньому до 30 відсотків. На рисунку 1.5 зображено газифікатор з псевдозрідженим шаром.

Розрізняють три стадії псевдозрідження, які можуть відбуватися в газифікаторі в залежності від конструкції: барботаже, рециркуляційне і уловлений потік. На нижньому кінці псевдозрідження шар розширюється і починає діяти як рідина. При збільшенні швидкості шар почне "пузиритися". При подальшому збільшенні повітряного потоку матеріал шару починає підніматися з шару. Цей матеріал зазвичай відокремлюється в циклоні і "рециркулює" в шар. При ще більш високих швидкостях матеріал шару захоплюється (тобто, підхоплюється і несесться повітряним потоком).

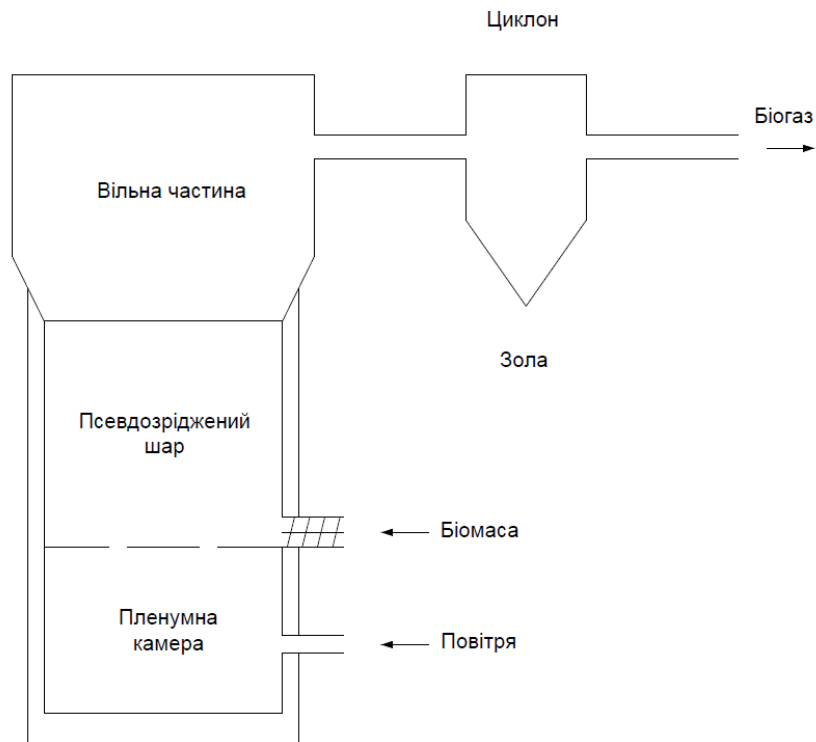


Рисунок 1.5 - Газифікатор з псевдозрідженим шаром

Газифікатори з псевдозрідженим шаром можуть бути спроектовані таким чином, щоб використовувати частину піролізних газів для вироблення тепла для керування процесом, або ж вони можуть спалюватися ззовні. Робота газифікатора при більш високому тиску збільшує пропускну здатність; однак, це також збільшує складність і вартість газифікатора. У цих установках біомаса повністю перетворюється після проходження через процеси піролізу та перетворення у вугілля.

Зменшивши кількість повітря та температуру процесу, можна експлуатувати котли з киплячим шаром як газифікатори. У цьому режимі роботи газифікатори виробляють газ з теплотою згоряння трохи більше $3\,700\text{ кДж/м}^3$. Цей газ спалюється над шаром, оскільки додаткова подача повітря впорскується перед трубною секцією котла.

Для газифікації біомаси в нерухомому та псевдозрідженому шарі використовується аналогічне обладнання, як і для прямого спалювання. Паливо з біомаси подається в посудину для спалювання/реакції з нерухомим, псевдозрідженим або рухомим шаром. Термодинаміка теплових втрат

подібна, але умови газифікації відрізняються від прямого спалювання. При прямому спалюванні у вигляді повітря вводиться від 10 до 14 разів більше повітря, ніж маса палива. При газифікації повітря, що надходить в реактор, якщо воно є, лише в один-два рази перевищує вагу палива. Ця різниця зменшує теплові втрати із зони реакції. З іншого боку, синтез-газ виходить з реактора газифікації при дуже високих температурах (від 650 до 815 °C); частина цих теплових втрат може бути відшкодована або безпосередньо за рахунок використання теплообмінників в секції охолодження газу, або опосередковано за рахунок використання тепла, отриманого при спалюванні синтезу в секції виробництва електроенергії. В тій мірі, в якій тепло використовується для попереднього підігріву вхідного повітря, введення високотемпературної пари або сушіння вхідної біомаси, ефективність перетворення біомаси в синтез-газ буде підвищуватися. У цьому випадку проміжне значення ефективності перетворення синтез-газу не збільшується, але збільшується загальна ефективність енергогенеруючої установки. Ці відмінності в сукупності призводять до ефективності перетворення біомаси в синтез-газ (теплота згоряння синтез-газу, поділена на теплоту згоряння біомаси) від 60 до 80 відсотків. В інтегрованих конфігураціях, однак, додаткова пара може вироблятися за рахунок охолодження гарячого синтез-газу, що виходить з реактора перед очищенням.

1.4 Когенераційні установки на біопаливі

Когенерація - це послідовне або одночасне виробництво декількох форм корисної енергії (як правило, механічної та теплової) в одній інтегрованій системі. Когенераційні системи складаються з ряду окремих компонентів - основного двигуна (теплового двигуна), генератора, рекуперації тепла та електричного з'єднання - об'єднаних в єдине ціле. Тип обладнання, яке приводить в дію всю систему в цілому (тобто, основний двигун), як правило, визначає систему когенерації. До основних двигунів для систем когенерації відносяться парові турбіни, газові турбіни (також звані турбінами згоряння), двигуни з іскровим запалюванням, дизельні двигуни, мікротурбіни та паливні

елементи. Ці двигуни здатні спалювати різні види палива, включаючи біомасу/біогаз, природний газ або вугілля для виробництва електричної або механічної енергії. Додаткові технології також використовуються в конфігурації повної системи ТЕЦ, включаючи котли, абсорбційні охолоджувачі, осушувачі, охолоджувачі з приводом від двигуна і газифікатори. Хоча механічна енергія від первинного двигуна найчастіше використовується для приводу генератора для виробництва електроенергії, вона також може бути використана для приводу обертового обладнання, такого як компресори, насоси та вентилятори. Теплова енергія від системи може використовуватися безпосередньо в технологічних процесах або опосередковано для виробництва пари, гарячої води, гарячого повітря для сушіння або охолодженої води для технологічного охолодження.

В даний час промисловий сектор виробляє як теплову, так і електричну енергію з біомаси на когенераційних установках у хімічній, деревообробній та харчовій промисловості. Ці галузі є основними споживачами палива з біомаси - використання тепла та пари в їхніх процесах може підвищити енергоефективність більш ніж на 35 відсотків. У цих галузях типова конфігурація когенераційної системи складається з котла, що працює на біомасі, пара якого використовується для приведення в рух парової турбіни на додаток до видобутку пари або тепла для технологічного використання.

Наступні технології розглядаються в цьому розділі з урахуванням їх здатності працювати на біомасі або біогазі.

- Парові турбіни - перетворюють енергію пари з котла або відпрацьоване тепло в енергію на валу.

- Газові турбіни, включаючи мікротурбіни - використовують тепло для переміщення лопатей турбіни, які виробляють електроенергію.

- Поршневі двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) - працюють на широкому спектрі рідкого і газоподібного паливі, але не на твердому паливі. Потужність зворотно-поступального валу може виробляти електроенергію через генератор або безпосередньо приводити в рух навантаження.

•Паливні елементи - виробляють електричний струм і тепло від хімічної реакції між воднем і киснем, а не від згорання. Вони потребують чистого газового палива або метанолу з різними обмеженнями на забруднюючі речовини.

Короткий огляд ключових характеристик кожної з них наведено в Таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 - Ключові характеристики КГУ [2]

Характеристика	Парова турбіна	Газова турбіна	Мікротурбіна	ДВЗ	Паливні елементи
Розмір	50 кВт – 250 МВт	500 кВт – 40 МВт	30 – 250 кВт	<5МВт	<1 МВт
Вид палива	Біомаса, біогаз	Біогаз	Біогаз	Біогаз	Біогаз
Підготовка палива	Не потребує	так	так	так	Так
Електрична ефективність	5 - 30%	22 - 36%	22 - 30%	22 - 45%	30 - 63%
Особливості функціонування	Висока надійність, повільний запуск, тривалий термін служби	Висока надійність, високоякісне тепло, не потребує охолодження, потребує газового компресора	Швидкий запуск, потрібен компресор паливного газу	Швидкий запуск, добре відстежує навантаження, потребує охолодження	Низька міцність, низький рівень шуму

1.4.1 Парові турбіни

Парова турбіна - це термодинамічний пристрій, який перетворює енергію високотемпературної пари високого тиску в енергію обертального руху, яка, в свою чергу, може бути використана для обертання генератора і виробництва електроенергії. На відміну від газових турбін та поршневих двигунів, де тепло є побічним продуктом виробництва електроенергії, паротурбінні когенераційні установки зазвичай виробляють електроенергію як побічний продукт виробництва тепла (пари). Парова турбіна вимагає окремого джерела тепла і не перетворює безпосередньо паливо в електричну енергію. Енергія передається від котла до турбіни за допомогою пари високого тиску, яка, в свою чергу, приводить в дію турбіну і генератор. Таке розділення функцій дозволяє паровим турбінам працювати з величезною кількістю видів палива,

від природного газу до твердих відходів, включаючи всі види вугілля, деревини, деревних відходів та побічних продуктів сільського господарства. У когенераційних установках пара при більш низькому тиску витягується з парової турбіни і використовується безпосередньо або перетворюється в інші форми теплової енергії.

У термодинамічному циклі, який називається циклом Ренкіна, рідка вода перетворюється на пару високого тиску в котлі і подається в парову турбіну. Пара змушує лопаті турбіни обертатися, створюючи потужність, яка перетворюється на електроенергію за допомогою генератора. Конденсатор і насос використовуються для збору пари, що виходить з турбіни, подачі її в котел і завершення циклу. Існує кілька різних типів парових турбін:

1) Конденсаційна парова турбіна, призначена тільки для виробництва електроенергії і розширює пару під тиском до низького тиску, після чого суміш пари і рідкої води відводиться в конденсатор в умовах вакууму;

2) Відбірні турбіни мають отвори в корпусі для відбору частини пари при деякому проміжному тиску для технологічного процесу або обігріву будівлі;

3) Турбіни протитиску відводять весь потік пари в технологічний процес або на об'єкт під необхідним тиском. Парові турбіни є однією з найбільш універсальних і найстаріших технологій первинних двигунів, які все ще знаходяться в комерційному виробництві. Звичайні паротурбінні електростанції виробляють більшу частину електроенергії, що виробляється в Україні. Потужність парових турбін може коливатися від 50 кВт до декількох сотень МВт для великих комунальних електростанцій. Парові турбіни широко використовуються для когенераційних установок.

1.4.2 Газові турбіни

Турбіни внутрішнього згоряння, або газові турбіни, використовуються для виробництва електроенергії протягом десятиліть і часто є технологією вибору для нового виробництва електроенергії через їх низьку капітальну вартість, низькі витрати на технічне обслуговування та низький рівень викидів.

Газова турбіна - це двигун внутрішнього згоряння, який працює з обертальним, а не зворотно-поступальним рухом. Турбіни можуть працювати на природному газі або біогазі і використовуються в широкому спектрі застосувань, включаючи виробництво електроенергії, газопровідні компресори і різні промислові застосування, що вимагають потужності валу. Хоча багато нових турбін є великими комунальними агрегатами, виробники виробляють менші та ефективніші агрегати, які добре підходять для розподіленої генерації. Турбіни варіюються в розмірах від 30 кВт (мікротурбіни) до 250 МВт (великі промислові установки). Ілюстрація конфігурації газової турбіни показана на рисунку 1.6.

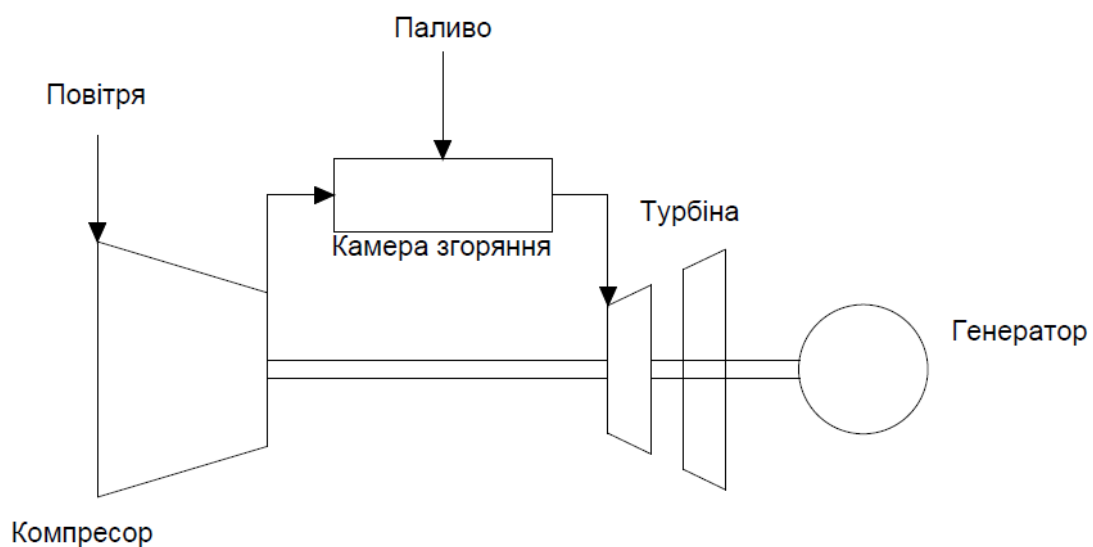


Рисунок 1.6 - Конфігурація газової турбіни

Газові турбіни можуть використовуватися в різних конфігураціях:

- Операції з простим циклом - одна газова турбіна виробляє тільки електроенергію.

- ТЕЦ - газова турбіна простого циклу з теплоутилізатором/теплообмінником, який утилізує тепло з вихлопних газів турбіни і перетворює його в корисну теплову енергію, зазвичай у вигляді пари або гарячої води.

- Парогазовий цикл - пара високого тиску виробляється з утилізованого тепла відпрацьованих газів і використовується для створення додаткової

потужності за допомогою парової турбіни. Деякі парогазові турбіни видобувають пару під проміжним тиском для використання в промислових процесах, що робить їх комбінованими когенераційними установками.

Як показано на рисунку_, газотурбінні системи виробництва електроенергії використовують цикл Брайтона/Джоуля і складаються з компресора для стиснення повітря до високого тиску, камери згоряння, що працює при високому тиску, власне газової турбіни (показана у двох частинах) і генератора. Турбінна частина складається з одного або декількох наборів турбінних лопаток, які витягують механічну енергію з гарячих продуктів згоряння. Частина цієї енергії використовується для живлення компресорної ступені, решта енергії доступна для приводу електрогенератора або іншого механічного навантаження. Компресор і всі лопатки турбіни можуть знаходитися на одному валу або на двох валах, один для компресора і турбінних ступенів, які приводять його в рух, а другий для турбінних ступенів, які виробляють корисну потужність. Для впорскування палива в камеру згоряння під тиском, паливо також повинно бути під тиском. Для газу з низькою теплотворною здатністю, як і для більшості біогазів, потрібен лише невеликий насос, тоді як для газу з високою теплотворною здатністю потрібен невеликий компресор. Теоретичний ККД турбіни є функцією температури на вході в турбіну і співвідношення тиску в турбіні, причому вищі рівні обох факторів призводять до вищого ККД. Температура на вході обмежується здатністю лопаток турбіни працювати при такій температурі протягом усього терміну служби турбіни.

Газотурбінна система, що працює на біомасі, потребує звалищного газу, газу з анаеробного реактора або газифікатора біомаси для виробництва біогазу для турбіни. Цей біогаз повинен бути ретельно відфільтрований від твердих частинок, щоб уникнути пошкодження лопатей газової турбіни. Крім того, оскільки типовий газифікатор біомаси виробляє біогаз з низькою теплотворною здатністю паливний компресор повинен бути розрахований на приблизно в 10 разів більший потік газу порівняно з природним газом, щоб забезпечити ту ж саму теплотворну здатність для пальника. Ці потреби в

потоці роблять потужність валу паливного компресора співставною з потужністю повітряного компресора, тим самим знижуючи ефективність турбіни. У звичайній газовій турбіні турбіна розрахована на обробку приблизно на 10 відсотків більшого потоку ніж повітряний компресор. У газовій турбіні з низьким коефіцієнтом корисної дії турбіна повинна бути спроектована таким чином, щоб обробляти приблизно вдвічі більший потік, ніж повітряний компресор. Крім того, співвідношення повітря до палива для біогазу нижче, ніж для природного газу, тому не все стиснене повітря потрібне. Частина цього стисненого повітря може бути перенаправлена для забезпечення енергією повітряних компресорів для прямих газифікаторів під тиском або для стиснення біогазу в атмосферних газифікаторах. Без видалення надлишкового повітря потужність турбіни була б значно знижена.

Через всі необхідні модифікації, існуючі газові турбіни не можуть бути легко модернізовані для роботи на біогазі з низькою теплотворною здатністю. Газові турбіни, призначені для біогазу з низькою теплотворною здатністю, як правило, коштують щонайменше на 50 відсотків дорожче, ніж турбіни на природному газі, в розрахунку на кВт. Багато виробників газових турбін пропонують турбінну продукцію, яка працює на газі звалищ та очисних споруд із середньою теплотворною здатністю, при цьому вартість обладнання трохи вища, ніж у турбін на природному газі, за умови, що газ належним чином обробляється та очищується.

1.4.3 Мікротурбіни

Мікротурбіни - це невеликі газові турбіни, які спалюють екологічно чисте газоподібне і рідке паливо для створення механічної енергії, що обертає електричний генератор або інше навантаження. Діапазон потужностей мікротурбін, які є на ринку або знаходяться в стадії розробки, становить від 30 до 250 кВт. Мікротурбіни, як і більші газові турбіни, можуть використовуватися тільки для виробництва електроенергії або в когенераційних системах. Вони здатні працювати на широкому спектрі видів палива, включаючи природний газ; кислі гази (з високим вмістом сірки); біогаз

і газу з середньою теплотворною здатністю, такі як звалищний газ біопаливо і рідке паливо, таке як бензин, гас і дизельне паливо/дистилят мазуту.

Мікротурбіни, як правило, мають нижчий електричний ККД, ніж генератори поршневих двигунів аналогічного розміру та більші газові турбіни. Однак, завдяки простоті конструкції та відносно невеликій кількості рухомих частин, мікротурбіни мають потенціал для скорочення технічного обслуговування порівняно з поршневими двигунами.

Мікротурбіни зазвичай мають внутрішній теплообмінник для рекуперації тепла. У типових мікротурбінах вхідне повітря стискається в радіальному компресорі, а потім попередньо нагрівається в рекуператорі з використанням тепла з вихлопних газів турбіни. Нагріте повітря з рекуператора змішується з паливом в камері згоряння і підпалюється. Гарячі продукти згоряння потім розширюються в одній або декількох секціях турбіни, виробляючи обертову механічну енергію для приводу компресора і електрогенератора. В одновальних моделях одна розширювальна турбіна обертає і компресор, і генератор. Моделі з двома валами використовують одну турбіну для приводу компресора і другу турбіну для приводу генератора, при цьому вихлопні газу з турбіни компресора приводять в дію турбіну генератора. Вихлоп силової турбіни потім використовується в рекуператорі для попереднього підігріву повітря від компресора.

При роботі КГУ другий теплообмінник-утилізатор - теплообмінник відпрацьованих газів - може бути використаний для передачі залишкової енергії з вихлопних газів мікротурбіни в систему гарячого водопостачання. Мікротурбіни з рекуперацією мають більш низьку температуру відпрацьованих газів, ніж турбіни простого циклу; однак, тепло відпрацьованих газів при низьких температурах може бути використано для різноманітних застосувань, включаючи технологічне опалення або опалення приміщень, нагрівання питної води, приведення в дію абсорбційних холодильників або регенерацію осушувального обладнання. Деякі мікротурбінні когенераційні установки мають можливість обходити рекуператор для регулювання співвідношення теплової та електричної енергії

або взагалі не використовувати рекуператори. Температура вихлопних газів таких мікротурбін є набагато вищою (до 650 °C) і, таким чином, все більше і більше тепла з більш високою температурою доступно для рекуперації.

1.4.4 Поршневі двигуни внутрішнього згоряння

Поршневі двигуни внутрішнього згоряння є широко розповсюдженою та відомою технологією. Північноамериканське виробництво перевищує 35 мільйонів одиниць на рік для автомобілів, вантажівок, будівельного та гірничодобувного обладнання, морських рушіїв, газонокосарок та різноманітних застосувань в енергетиці. Різноманітні стаціонарні двигуни доступні для цілого ряду застосувань на ринку виробництва електроенергії та робочих циклів, включаючи резервне та аварійне живлення, пікове обслуговування, проміжне та базове навантаження, а також когенерацію. Поршневі двигуни доступні для застосування в енергетиці в розмірах від декількох кіловат до більш ніж 5 МВт. Існує два основних типи поршневих двигунів з іскровим запалюванням (ІЗ) та запалюванням від стиснення (ЗС). Двигуни з іскровим запалюванням для виробництва електроенергії використовують природний газ як основне паливо, хоча вони можуть працювати на пропані, бензині, біогазі або звалищному газі. Дизельні двигуни працюють на дизельному паливі або мазуті, або вони можуть бути налаштовані на роботу в двопаливній конфігурації, яка спалює переважно природний газ або біогаз з невеликою кількістю дизельного пілотного палива.

Технологія поршневих двигунів з ізольованими циліндрами значно покращилася за останні три десятиліття, що зумовлено економічними та екологічними вимогами щодо підвищення питомої потужності (більшої потужності на одиницю робочого об'єму двигуна), підвищення ефективності використання палива та зменшення викидів. Комп'ютерні системи значно вдосконалили конструкцію поршневих двигунів і управління ними, прискоривши розробку передових конструкцій двигунів і забезпечивши більш точний контроль і діагностичний моніторинг процесу роботи двигуна. Виробники стаціонарних двигунів і світові фірми, що займаються

дослідженнями і розробкою двигунів, продовжують розвивати передові технології двигунів, в тому числі прискорюючи дифузію технологій і концепцій з автомобільного ринку на ринок стаціонарних двигунів.

Двигуни потребуватимуть модифікації для того, щоб пристосуватись до більш високих витрат і домішок. Однак, необхідні модифікації поршневих двигунів досягаються легше. У більшості випадків для використання газів середньої калорійності, таких як звалищний газ та газ з метантенків, достатньо встановити більше фільтруючих пристроїв та нові колектори, що, як правило, додає близько 5 відсотків до вартості двигуна, що працює на природному газі. Крім того, нижча теплота згоряння біогазу призводить до зниження вихідної потужності приблизно на 15 відсотків у порівнянні з двигуном, що працює на природному газі, що ще більше збільшує загальну вартість обладнання в перерахунку на кіловат. Проблеми технічного обслуговування, пов'язані з використанням біогазу в поршневих двигунах, включають підвищений знос, більший обсяг очищення і до восьми разів частішу заміну мастила. Загальні непаливні витрати на експлуатацію та обслуговування для біогазових двигунів приблизно на 60-70% вищі, ніж для двигунів, що працюють на природному газі.

Рекуперація тепла від поршневого двигуна є більш складною, але більш гнучкою, ніж від газової турбіни. Тепло може бути отримано не тільки з вихлопних газів, але й з води сорочки охолодження та машинного масла. Високотемпературним джерелом тепла є вихлопні гази двигуна, що мають температуру 315 – 650 °C. Залежно від конструкції, з вихлопних газів можна отримати від 1000 до 2300 кДж на кіловат потужності валу двигуна. Вода з сорочки охолодження виходить з двигуна при температурі близько 93° C. Залежно від конструкції системи, з води з сорочки охолодження можна утилізувати до 4 000 кДж/кВт-год тепла, але більш типовим є показник 2 500 кДж/кВт-год. Після проходження через теплообмінники сорочкова вода прокачується через теплообмінник масляного радіатора (дещо підігрівуючи сорочкову воду) і повертається назад у двигун. В окремому контурі мастило двигуна перекачується з масляного піддону через масляний радіатор і

повертається назад у двигун. З мастила двигуна можна отримати лише від 300 до 900 кДж/кВт-год. Іншим джерелом тепла є проміжне та додаткове охолодження турбокомпресора, яке може бути як окремим, так і частиною системи охолодження сорочки. Три потенційні теплові контури дають можливість спроектувати систему рекуперації тепла таким чином, щоб вона максимально відповідала тепловому навантаженню об'єкту.

Висновки до розділу 1

В результаті огляду видів біопалива, тепло та електрогенеруючого обладнання було проаналізовано доступні на сьогоднішній день технології альтернативної енергетики і визначено найбільш доцільну конфігурацію обладнання для застосування на підприємстві з виготовлення кормів. У якості альтернативного виду палива було обрано деревну щепу, як найбільш доступний у регіоні розміщення заводу ресурс. Для виробництва теплової енергії обрано твердопаливний котел з киплячим шаром без використання газифікації, так як цей процес потребує додаткової утилізації тепла. Для розгляду можливості генерування електричної енергії на заводі при використанні твердопаливного котла доцільно буде розглянути можливість використання парової турбіни.

РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА З ВИГОТОВЛЕННЯ КОРМІВ

2.1 Стислий опис об'єкту

Об'єктом магістерської дисертації є завод з виробництва кормів для тварин. Виробничі потужності знаходяться у Львівській області, Україна. Основним напрямком діяльності підприємства є виготовлення готових кормів для тварин. Загалом продукцію можна поділити на: сухі корми та вологі корми. Дане підприємство працює в режимі 24/7 цілий рік.



Рисунок 2.1 – Фото адміністративного корпусу, цеху вологих кормів та цеху сухих кормів

На ділянці підприємства знаходяться 6 будівель, а саме: адміністративний корпус, цех вологих кормів, цех сухих кормів, котельня, очисні споруди, компресорна. Завод знаходиться в роботі з 2005 року, спочатку спеціалізуючись на виробництві сухих кормів, з 2011 року запрацював завод з виробництва вологих кормів, що розташований у будівлі поруч.

2.2 Аналіз виробничої діяльності та споживання ПЕР підприємством

Підприємство споживає природний газ, електроенергію та воду. Електрична енергія використовується технологічним обладнанням, таким як конвеєри, подрібнювачі, змішувачі, насоси, вентилятори, екструдери, пакувальні машини, емульсатори тощо. Крім того, електрична енергія використовується повітряними компресорами та охолоджуючими машинами. Природний газ використовується для виробництва пари в котельні. Також газ використовується в технологічній ланці виробництва, а саме для процесу сушіння сировини. Вода використовується для різних технологічних операцій при виробництві та побутових потреб.

В таблиці 2.1 , та на відповідному рисунку 2.2 наведено місячне споживання електроенергії (кВт*год) підприємством за роки з 2019 по 2021.

Таблиця 2.1 – Місячне споживання електроенергії (кВт*год) за 2019 – 2021 роки

Місяць	Рік		
	2019	2020	2021
Січень	524505	523420	654321
Лютий	458633	547670	667547
Березень	557337	592913	719982
Квітень	502562	528145	672882
Травень	556486	478294	582250
Червень	497239	465280	592913
Липень	523923	535547	655995
Серпень	542513	557099	614370
Вересень	529534	541333	622828
Жовтень	560351	583610	721755
Листопад	456391	610600	726185
Грудень	581262	684794	777570
Загалом	6290736	6648705	8008598

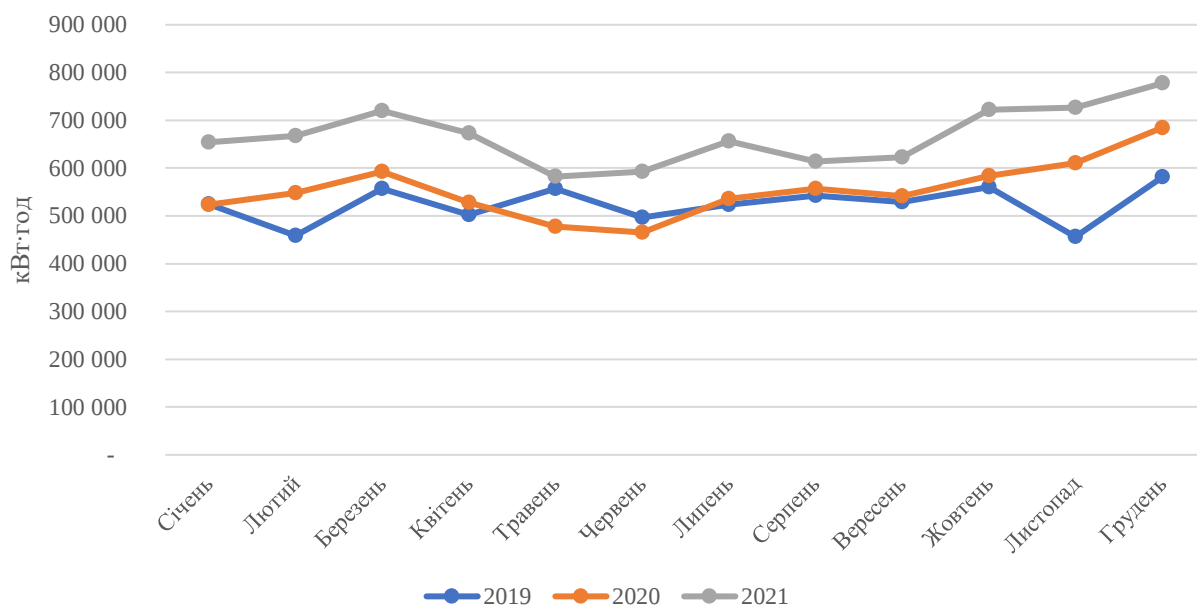


Рисунок 2.2 – Графік споживання електричної енергії за 2019 – 2021 роки

З рисунку видно, що криві характеру споживання електричної енергії за кожен рік подібні між собою, з піком споживання в грудні, що може бути пов'язане з використанням електричного опалення взимку. Параметрами, що можуть впливати на характер споживання електроенергії є об'єми виробництва продукції та температура навколишнього середовища.

В таблиці 2.2 та на рисунку 2.3 наведено місячне споживання газу (м³) підприємством за 2019 – 2021 роки.

Таблиця 2.2 – Місячне споживання природного газу (м³) за 2019 – 2021 роки

Місяць	Рік		
	2019	2020	2021
1	2	3	4
Січень	131657	142359	161344
Лютий	114148	144225	166095
Березень	131196	143430	174250
Квітень	117784	129874	165881
Травень	127164	127858	159596
Червень	106254	123832	150822
Липень	120675	134218	152722
Серпень	123581	142792	155923
Вересень	124499	153756	163111
Жовтень	136390	160732	170019
Листопад	122294	154751	177152

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4
Грудень	143958	170604	197173
Загалом	1499600	1728432	1994088

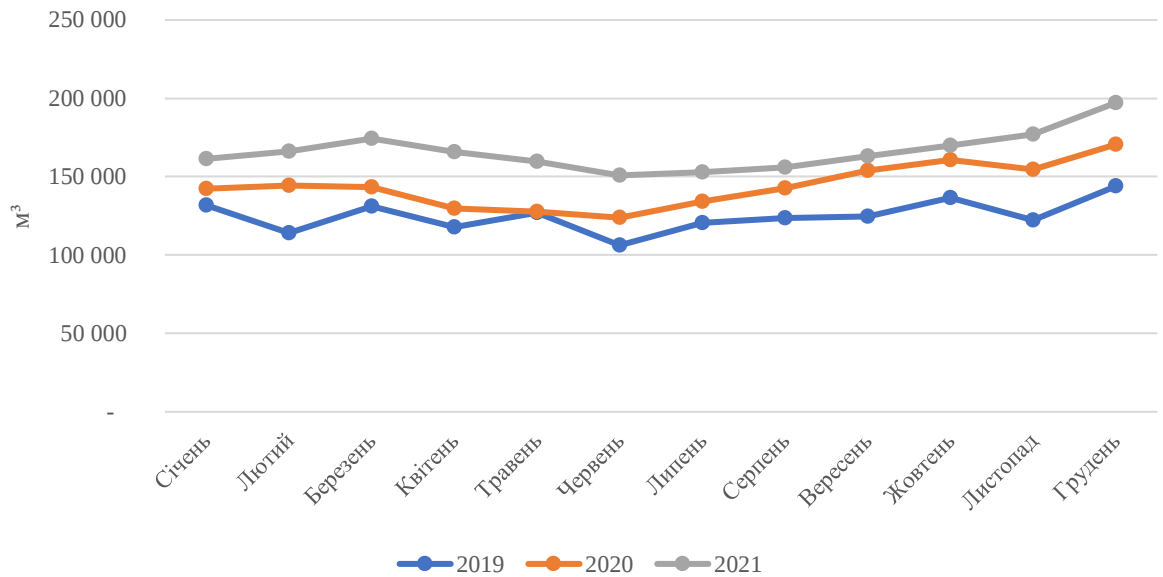


Рисунок 2.3 – Графік споживання природного газу (м³) за 2019 – 2021 роки

Характер споживання газу теж подібний. Так як підприємство опалюється власною котельнею, на графіку видно цілком очікуване зростання споживання газу в холодну пору року та відповідно спад у теплу. Загалом споживання газу заводом залежить від температури навколишнього середовища та від об'ємів виробництва, так само як і у випадку з електроенергією, адже газ активно використовується в технологічному ланцюгу.

В таблиці 2.3 та на рисунку 2.4 наведено місячне споживання холодної води (м³) підприємством за 2019 – 2021 роки.

Таблиця 2.3 – Місячне споживання холодної води (м³) за 2019 – 2021 роки

Місяць	Рік		
	2019	2020	2021
1	2	3	4
Січень	4869	4813	5518
Лютий	5057	4095	4989
Березень	4157	3945	4630

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4
Квітень	4493	4346	5538
Травень	4149	5056	5133
Червень	3854	4475	5178
Липень	5111	4308	5383
Серпень	4205	5418	4884
Вересень	4185	5542	5468
Жовтень	4241	5954	4841
Листопад	4476	5162	5691
Грудень	4695	4833	5533
Загалом	53492	57947	62786

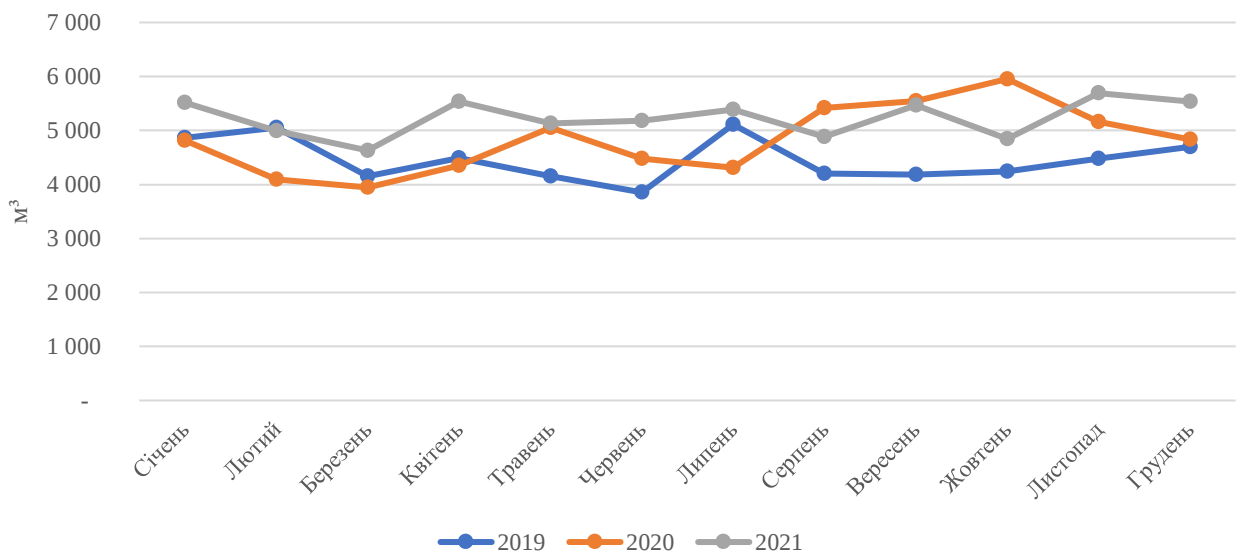


Рисунок 2.4 – Графік споживання холодної води (м³) за 2019 – 2021 роки

Характер графіку споживання холодної води на відміну від електроенергії та газу не залежить від зовнішньої температури і значною мірою залежить від потреб персоналу. На заводі холодна вода використовується для виробництва пари, що задіяна в технологічному ланцюгу, за допомогою парових котлоагрегатів, тож температура холодної води на подачі може вплинути на використання газу.

На рисунку 2.5 зображено порівняння кількості використання заводом електричної енергії та газу (кВт*год), за 2019 – 2021 роки.

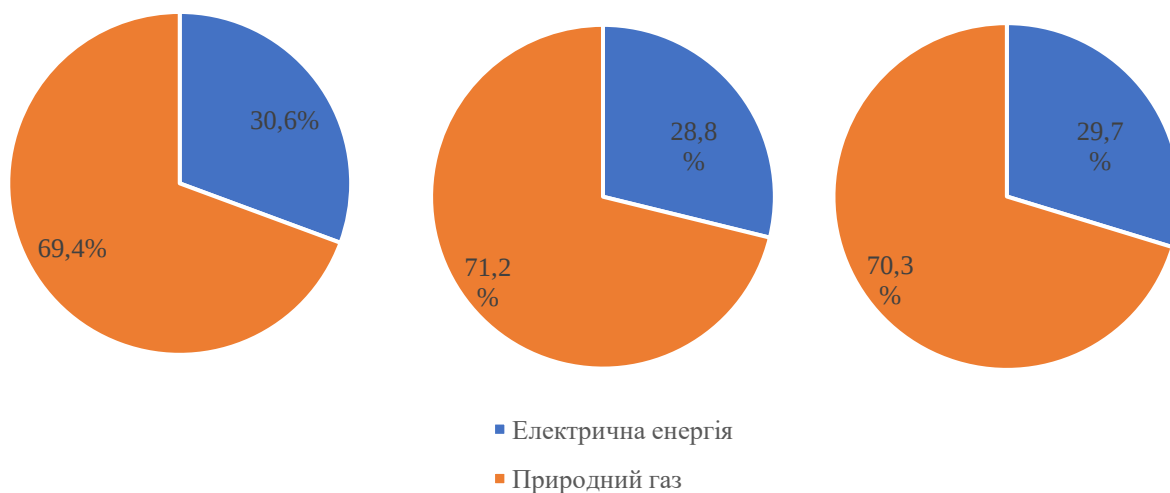


Рисунок 2.5 – Складові споживання енергетичних ресурсів (кВт*год) 2019 – 2021

2.3 Аналіз тарифної політики підприємства

В таблиці 2.4 наведено тарифи за якими підприємство закуповує електричну енергію, природний газ та холодну воду, станом на липень 2022 року.

Таблиця 2.4 – Енергетичні тарифи та витрати

Енергоносії	одиниця	Тариф, грн	Витрати, грн
Електроенергія	кВт*год	4,38	35 077 659
Холодна вода	м³	23,45	1 472 206
Природний газ	м³	30,08	59 990 155
Всього			96 540 021

На рисунку 2.6 графічно відображено розподіл витрат підприємством на енергоносії.

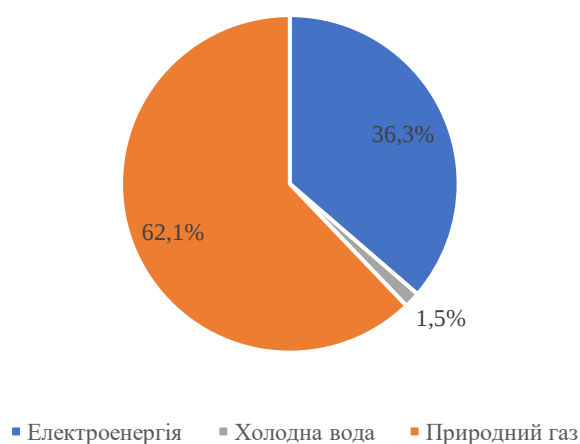


Рисунок 2.6 – розподіл витрат на енергоносії, грн.

Найбільше коштів підприємство витрачає на закупівлю природного газу, котрий складає близько 60% від загальних витрат, тож було б доцільно приділити увагу скороченню його споживання, а в наявних умовах зі складнопрогнозованим зростанням тарифу розглянути перехід на альтернативні види палива.

2.4 Виробництво продукції

Все виробництво компанія розділила на два цехи: вологі корми та сухі корми. Ці види продукції виготовляються в окремих цехах. Інформація щодо обсягів помісячного виробництва тваринних кормів за період з 2019 по 2021 роки наведена нижче, в таблиці 2.5, таблиці 2.6 та таблиці 2.7.

Таблиця 2.5 – Місячне виробництво кормів за 2019 рік

Місяць	Вологі корми, т	Сухі корми, т	Всього, т
Січень	1 015,47	2282,25	3297,7
Лютий	1 072,01	1 609,07	2 681,1
Березень	1 212,00	2 363,97	3 576,0
Квітень	1 128,46	2 168,97	3 297,4
Травень	1 340,79	2 397,41	3 738,2
Червень	1 035,16	2 281,33	3 316,5
Липень	1 224,68	2 288,45	3 513,1
Серпень	1 228,64	2 190,23	3 418,9
Вересень	1 137,09	2 377,10	3 514,2
Жовтень	1 171,85	2 542,62	3 714,5
Листопад	1 202,91	1 639,53	2 842,4
Грудень	1 336,45	2 811,21	4 147,7
Всього	14 105,5	26 952,1	41 057,7

Таблиця 2.6 – Місячне виробництво кормів за 2020 рік

Місяць	Вологі корми, т	Сухі корми, т	Всього, т
Січень	1 196,70	2363,84	3 560,5
Лютий	1 271,05	2 515,71	3 786,8
Березень	1 153,75	2 764,32	3 918,1
Квітень	1 155,16	2 413,06	3 568,2
Травень	1 462,33	1 528,74	2 991,1
Червень	1 084,83	2 029,79	3 114,6
Липень	1 316,21	2 267,63	3 583,8
Серпень	1 489,21	2 423,16	3 912,4
Вересень	1 371,09	2 593,03	3 964,1
Жовтень	1 542,57	2 610,41	4 153,0
Листопад	1 481,62	2 537,02	4 018,6
Грудень	1 583,01	2 673,84	4 256,9
Всього	16 107,5	28 720,6	44 828,1

Таблиця 2.7 – Місячне виробництво кормів за 2021 рік

Місяць	Вологі корми, т	Сухі корми, т	Всього, т
Січень	1407,7	2 546,4	3 954,2
Лютий	1350,4	2 854,9	4 205,3
Березень	1532,8	3 019,4	4 552,2
Квітень	1459,0	2 802,4	4 261,4
Травень	1304,1	2 923,5	4 227,7
Червень	1433,1	2 507,1	3 940,2
Липень	1391,5	2 799,0	4 190,5
Серпень	1373,9	2 737,0	4 111,0
Вересень	1 440,6	2 909,8	4 350,3
Жовтень	1 513,3	3 153,8	4 667,1
Листопад	1 481,9	3 222,2	4 704,1
Грудень	1 481,9	3 222,2	4 704,1
Всього	17 170,3	34 697,6	51 867,9

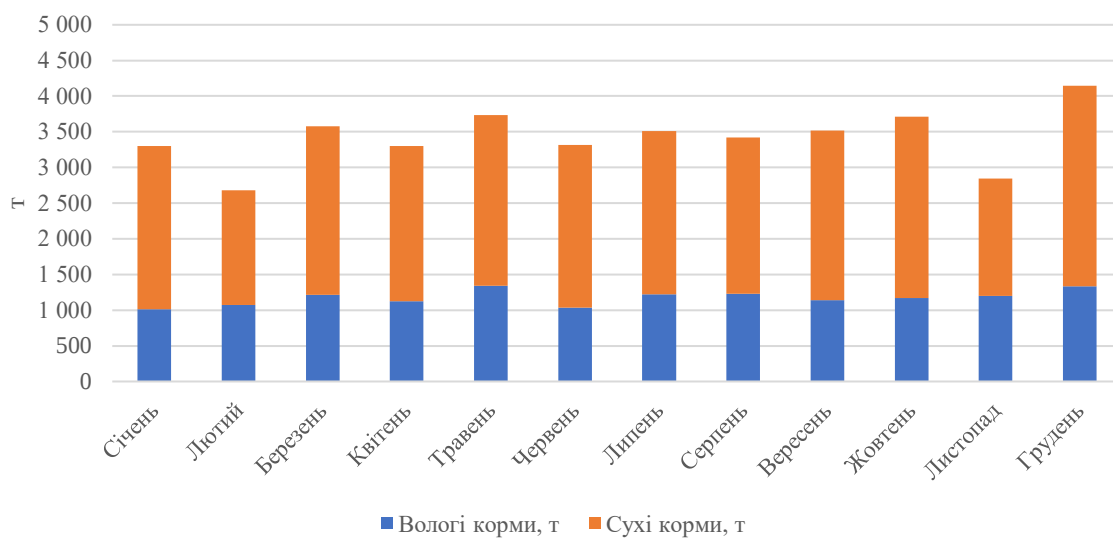


Рисунок 2.7 – Місячне виробництво кормів за видами 2019р

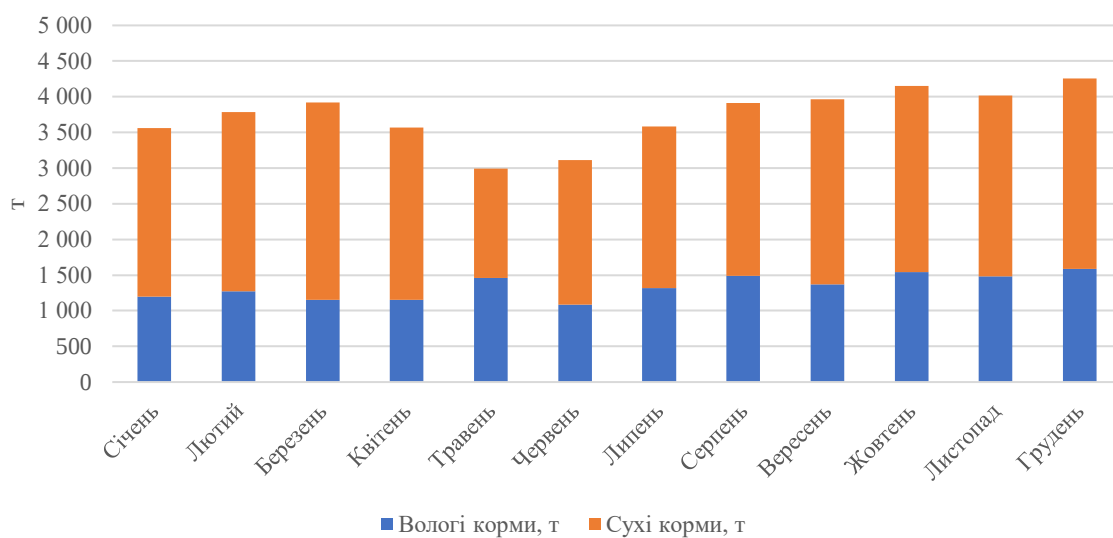


Рисунок 2.8 – Місячне виробництво кормів за видами 2020р

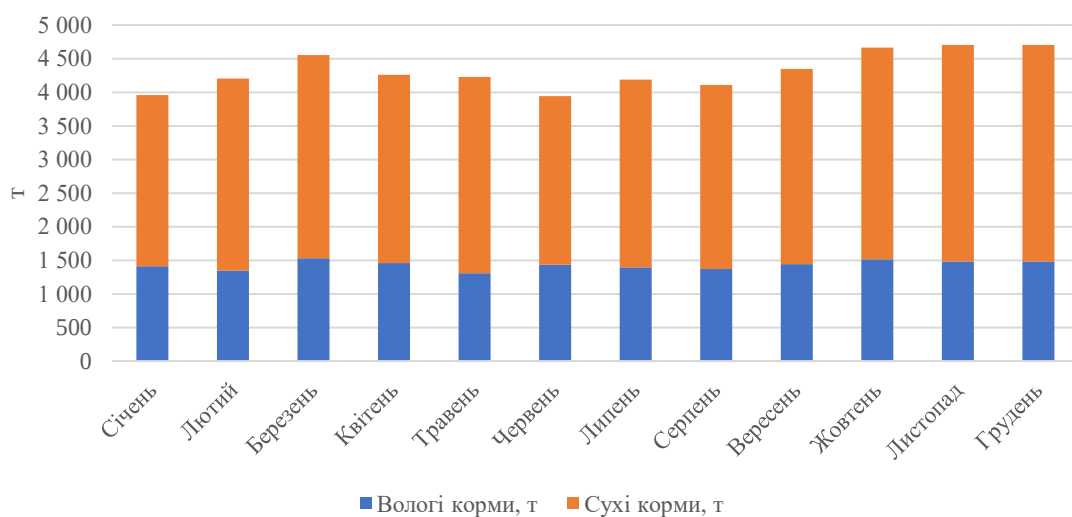


Рисунок 2.9 – Місячне виробництво кормів за видами 2021р

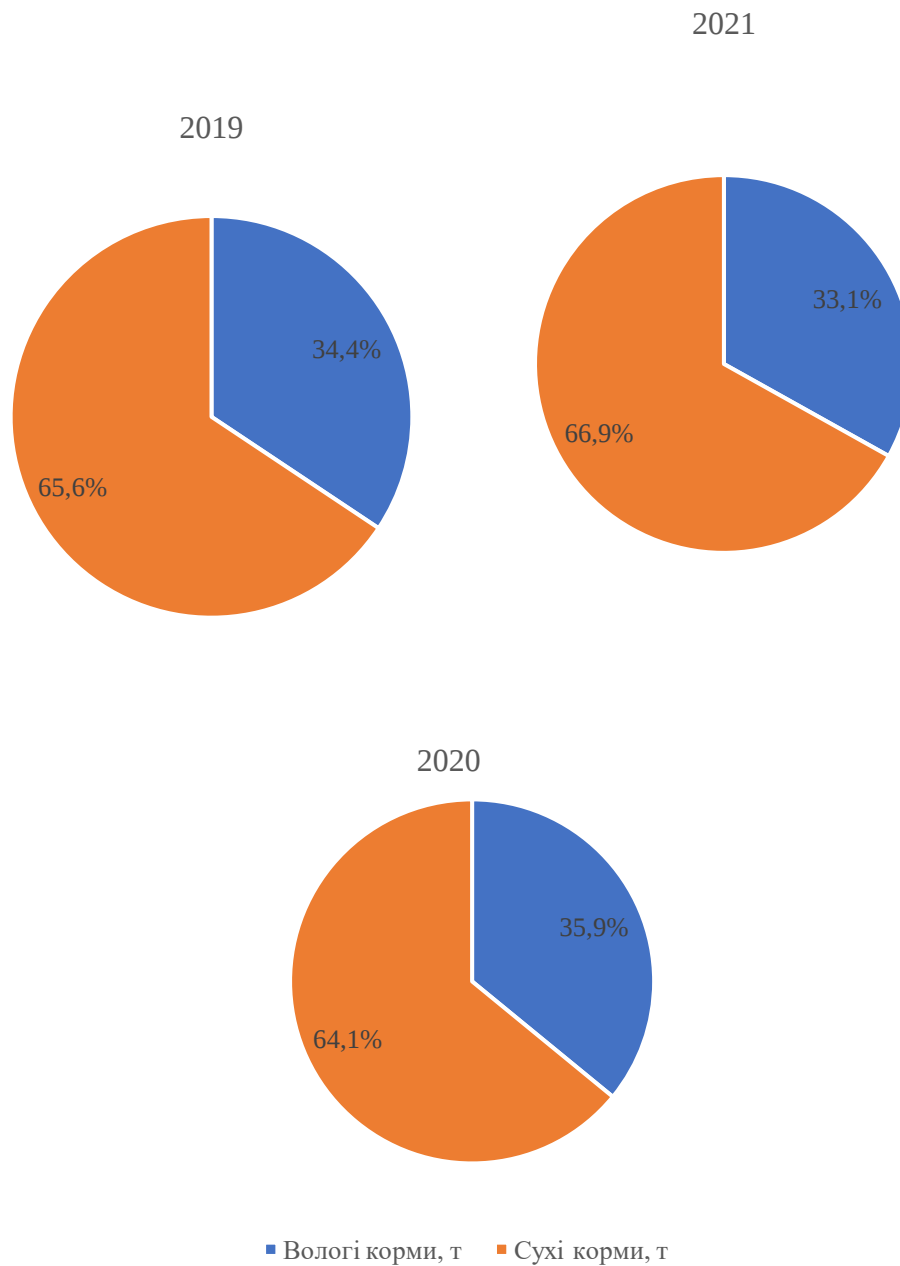


Рисунок 2.10 – Розподіл виробництва кормів, 2019-2021

Як видно з графіків зображених на рисунку 2.7, 2.8, 2.9 та рисунку 2.10, компанія виготовляє близько 67% сухих кормів від загального виробництва. Рівень виробництва залишається стабільним щомісяця протягом року.

2.5 Графіки навантаження

Підприємство можна охарактеризувати з повним навантаженням, практично без перерв. Нижче на рисунку 2.11 та рисунку 2.12 наведено електричні графіки навантаження за різні дні року.

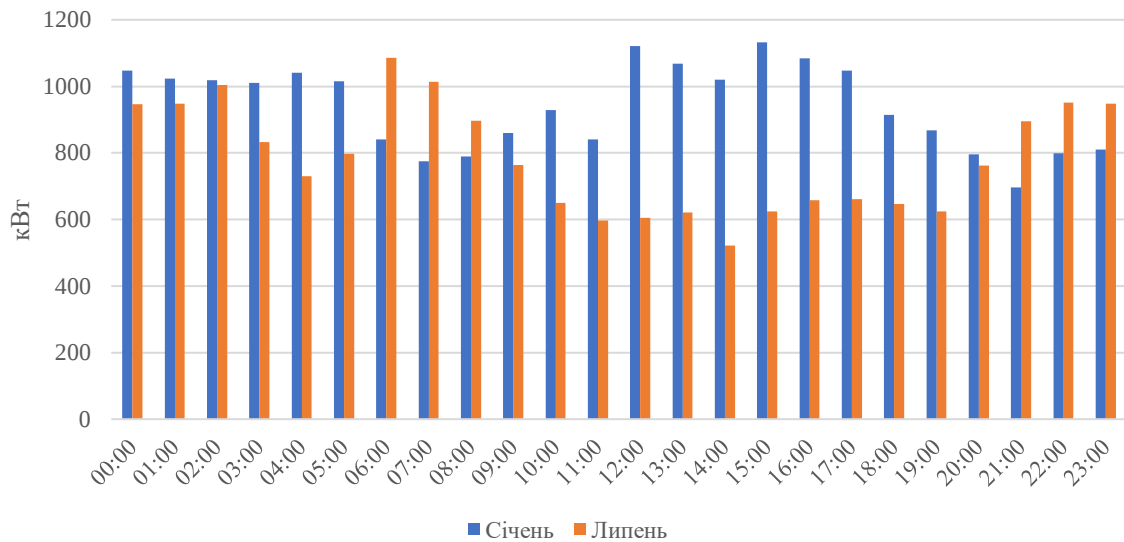


Рисунок 2.11 – Графік електричного навантаження для літнього і зимового днів

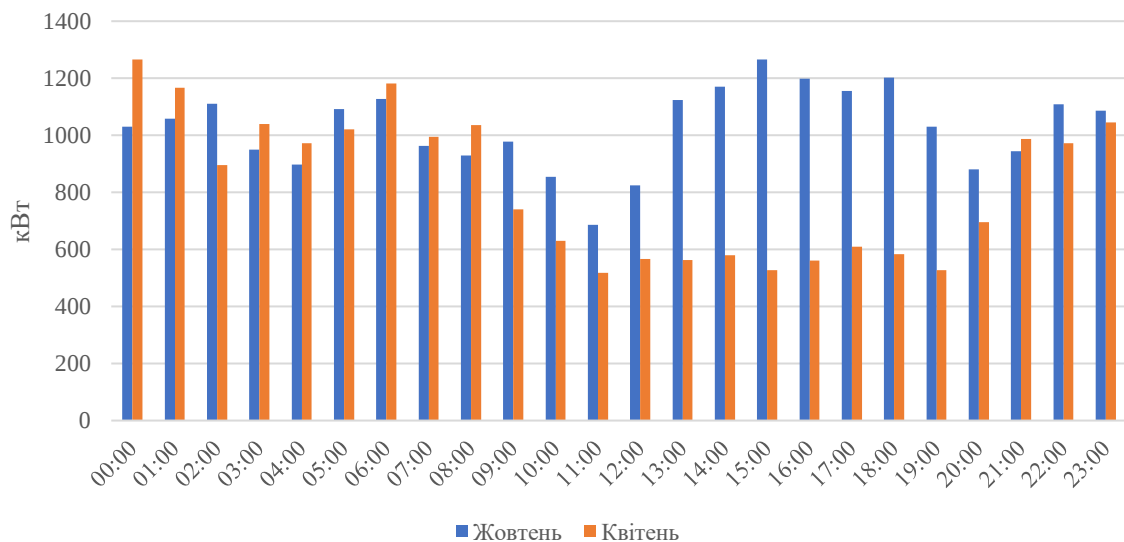


Рисунок 2.12 – Графік електричного навантаження для весняного та осіннього днів

Як правило, графіки навантаження не мають чітко визначених піків або спадів. Ймовірно, електричне навантаження залежить тільки від продуктивності. Крім того, нижче показано щоденне споживання електроенергії та природного газу. Відповідна середня зовнішня температура нанесена на графіки 2.13 та 2.14.

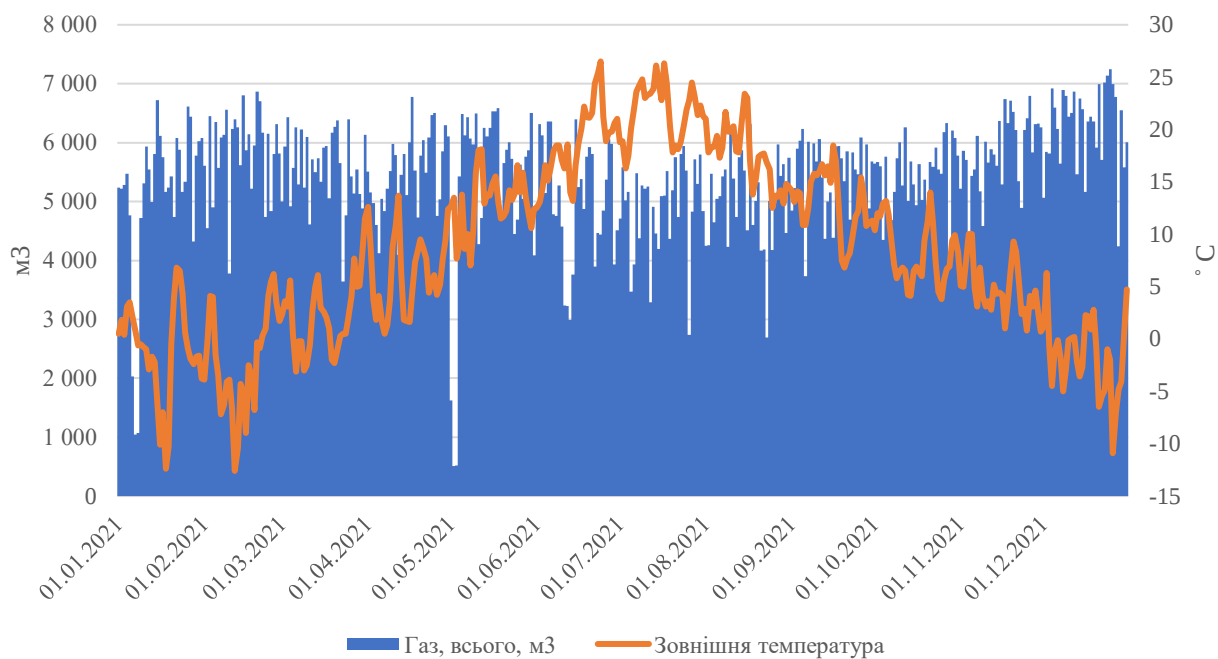


Рисунок 2.13 – Добове споживання природного газу, 2021 рік

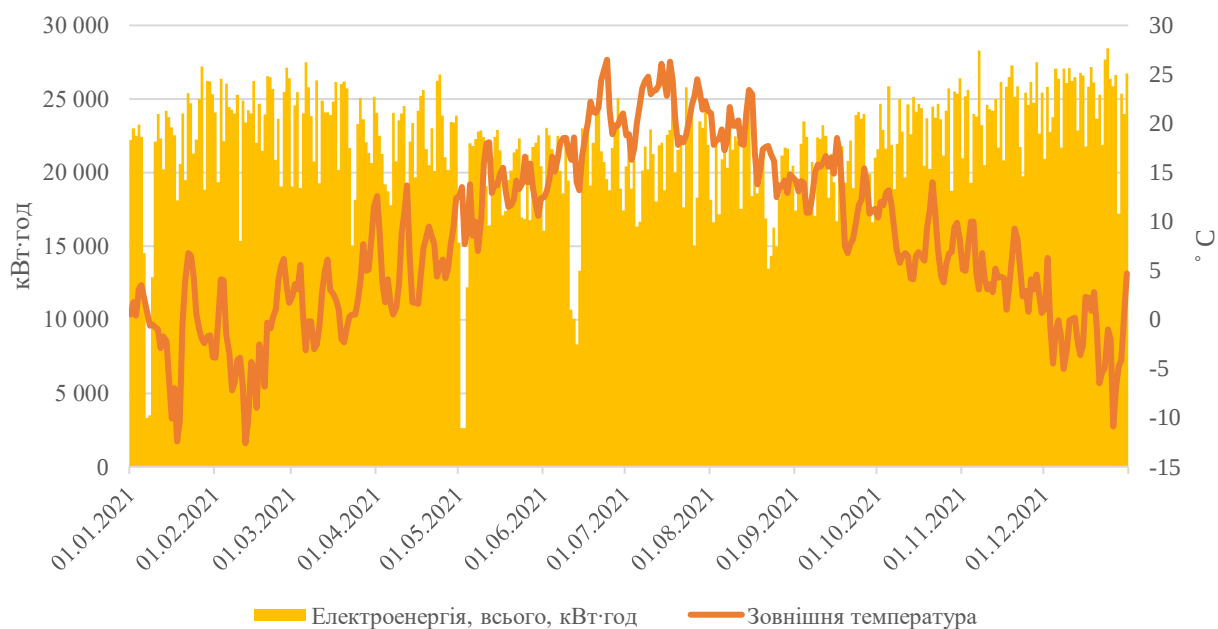


Рисунок 2.14 – Добове споживання електроенергії, 2021 рік

Помітна з графіків незалежність споживання газу від зовнішньої температури свідчить про відсутність встановленої системи погодного регулювання в тепловому пункті підприємства, а отже у період доби коли зовнішня температура піднімається, підприємство має небажану перевитрату

газу. Проте частка використання заводом газу з приведеного графіка йде на технологічні потреби такі як виробництво пари.

2.6 Кореляційний аналіз і базовий рівень

Проведення кореляційно-регресійного аналізу для енергетичних ресурсів і виробленої продукції дозволяє визначити залежності між витратою енергетичних ресурсів, кількістю виробленої продукції та зовнішньою температурою. Для проведення кореляційного аналізу були використані дані за 2021 рік. В таблиці 2.8 наведено результати проведеного аналізу, у вигляді значень коефіцієнту багатofакторної кореляції r .

Таблиця 2.8 – Кореляційний аналіз

Вид ресурсу	Електрична енергія	Газ	Вода	Вологі корми	Сухі корми	Т назовні
Електрична енергія	1	0,8777	0,1069	0,7268	0,7424	-0,6414
Газ	0,8777	1	0,1876	0,5559	0,7937	-0,7102
Вода	0,1069	0,1876	1	-0,0185	0,0186	-0,0857
Вологі корми	0,7268	0,5559	-0,0185	1	0,4768	-0,3001
Сухі корми	0,7424	0,7937	0,0186	0,4768	1	-0,3610
t назовні	-0,6414	-0,7102	-0,0857	-0,3001	-0,3610	1

Загалом кореляційних зв'язків щодо споживання води не виявлено. Результати показали наявність нечітко вираженої залежності споживання електроенергії та природного газу.

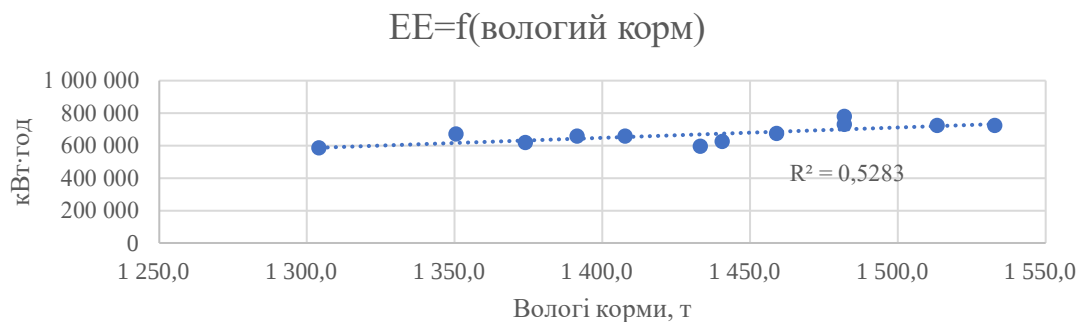


Рисунок 2.15 – Залежність споживання електроенергії від виробництва вологих кормів, місячні значення 2021р

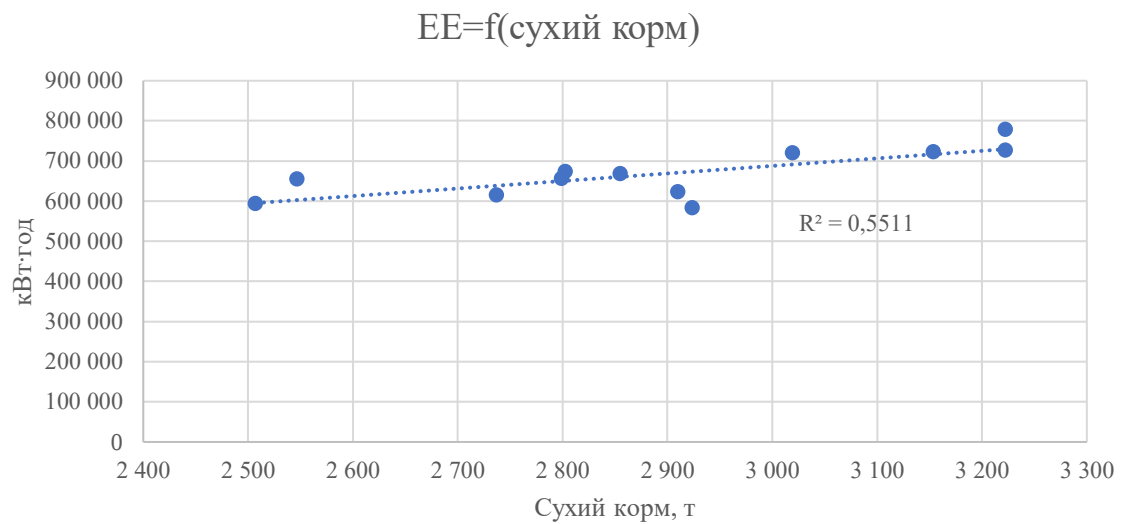


Рисунок 2.16 – Залежність споживання електроенергії від виробництва сухих кормів, місячні значення 2021р

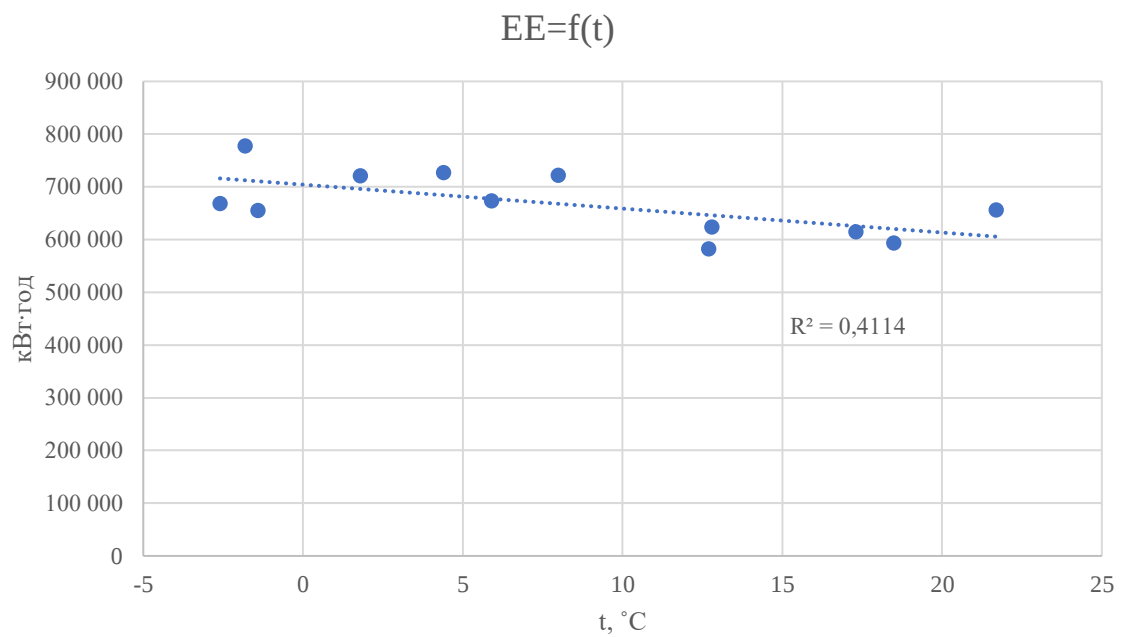


Рисунок 2.17 – Залежність споживання електроенергії від температури навколишнього середовища, місячні значення 2021р

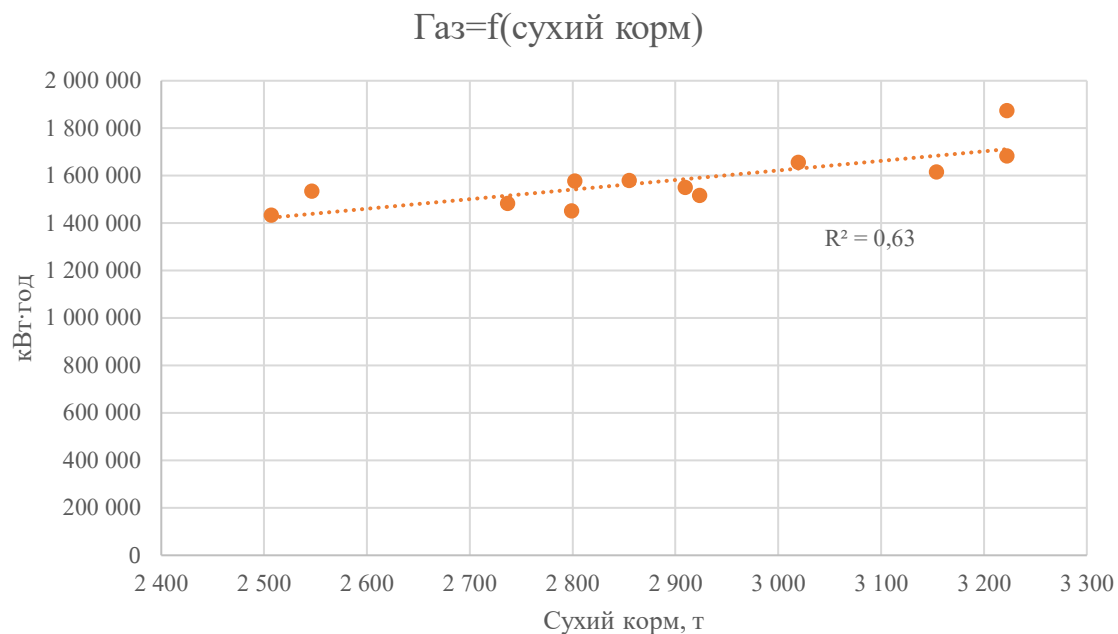


Рисунок 2.18 – Залежність споживання природного газу від виробництва сухих кормів, місячні значення 2021р

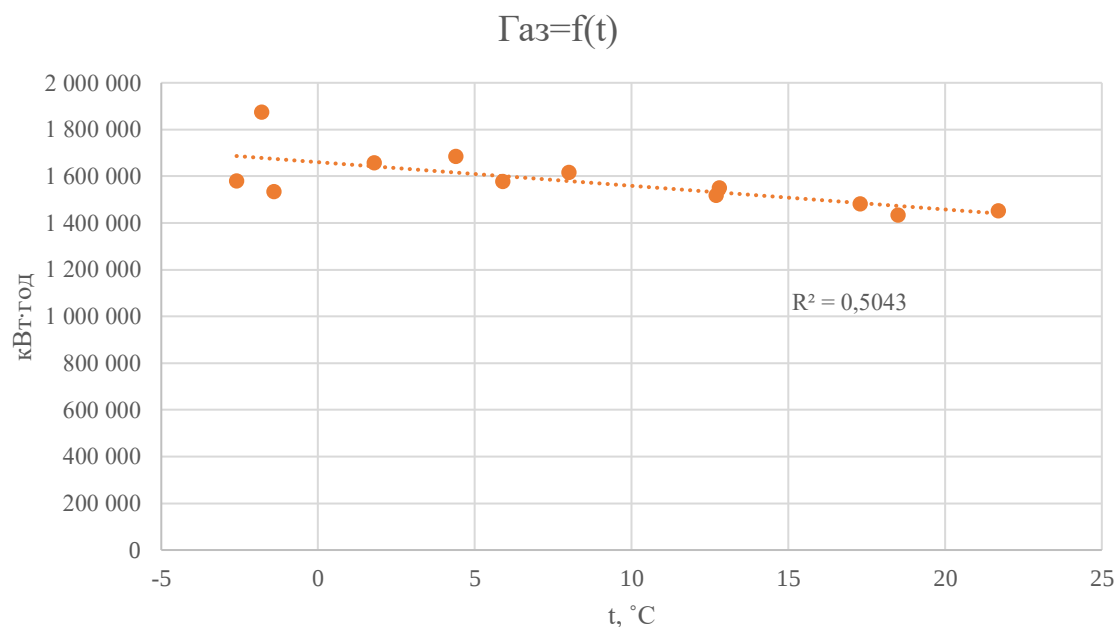


Рисунок 2.19 – Залежність споживання природного газу від температури навколишнього середовища, місячні значення 2021 р

Зібрані дані дозволили сформулювати рівняння для визначення базового рівня споживання. Відповідні графіки (рис. 2.20 та рис. 2.21) та рівняння показані нижче.

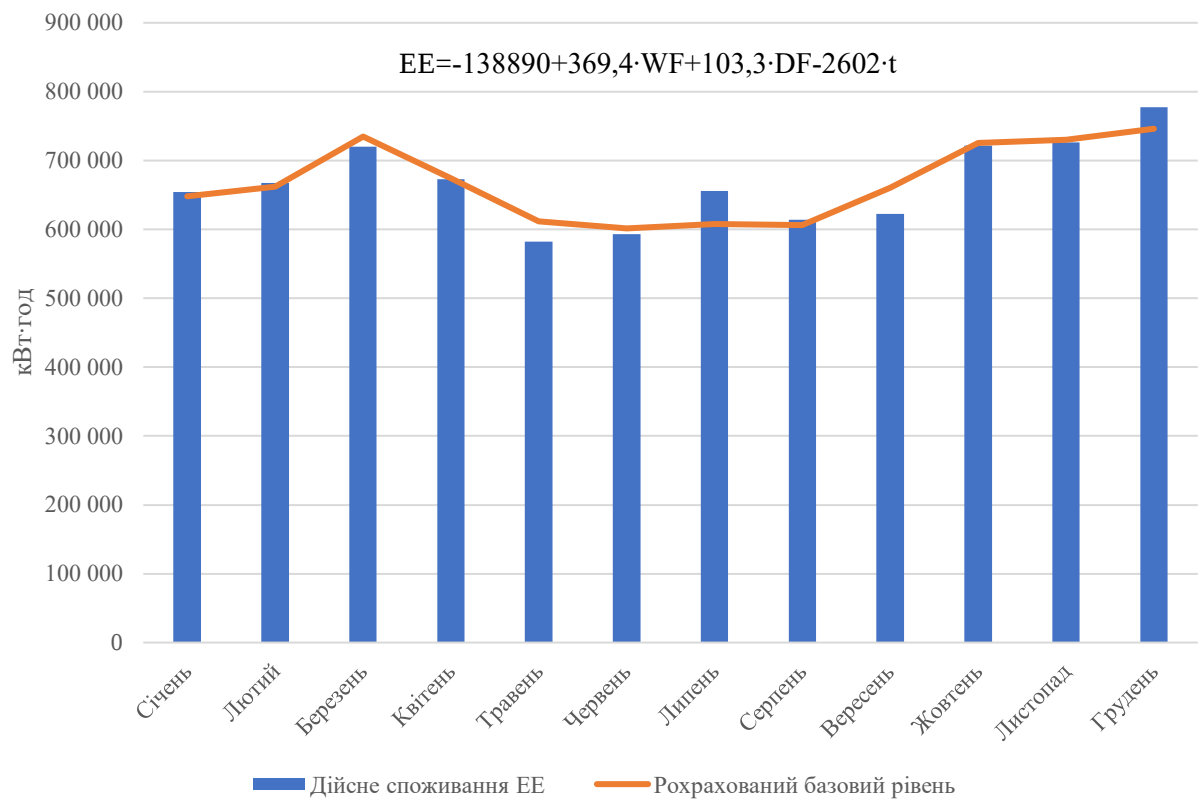


Рисунок 2.20 – Фактичне споживання та базова лінія електроенергії

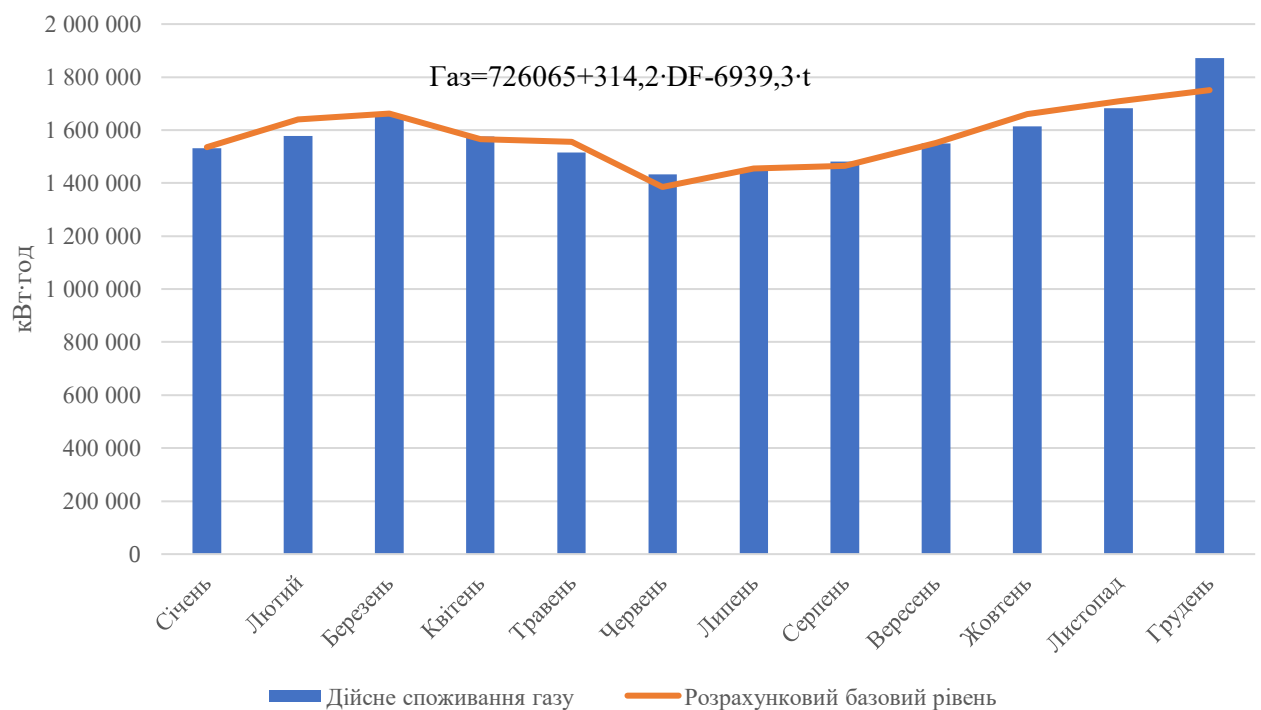


Рисунок 2.21 – Фактичне споживання та базова лінія природного газу

2.7 Енергетичний баланс

Основним споживачем природного газу є котельня, де два котли забезпечують парою виробничі лінії. Значна частка пари використовується для стерилізації (в автоклавах) упакованої продукції у цеху вологих кормів. Пара також використовується для попереднього підігріву, варіння та екструзії сировини в обох цехах. Крім того, газ використовують у двох сушарках цеху сухих кормів.

Частина енергії, отриманої з природного газу, втрачається через неефективність котлів, газових пальників, втрат забрудненого конденсату і втрат тепла в трубопроводах.

Приблизний розподіл газу та теплової енергії наведено в таблиці 2.9 та на рисунку 2.22.

Таблиця 2.9 – Розподіл теплової енергії

Місяць	Газ (опалення), кВт·год	Котельня, газ, кВт·год	Пара, цех вологих кормів, кВт·год	Пара, цех сухих кормів, кВт·год	Стерилізація, кВт·год	Сушка, газ, кВт·год	Газ, інше, кВт·год
Січень	9715	1139980	714845,7	242647	497512	339791	52522
Лютий	18042	1063365	674643,2	218499	507351	345695	168356
Березень	-	1144515	748948,1	212354	497512	346255	164094
Квітень	-	1077504	724628,0	180390	479743	350670	147208
Травень	-	1051740	693529,8	189848	497512	341002	122951
Червень	-	1033561	694587,3	173522	479743	278270	120536
Липень	-	1068710	724678,5	172953	497512	271979	109721
Серпень	-	1106108	727089,3	201954	497512	275690	99012
Вересень	-	1126749	724025,3	222355	479743	286414	135911
Жовтень	-	1142265	729674,5	229738	497512	312877	159538
Листопад	-	1145444	747092,1	214990	479743	365843	171136
Грудень	12 491	1268252	779439,0	285793	497512	404956	199354
Всього	40 248	13368192	8683181	2545043	5908906	3919441	1650340

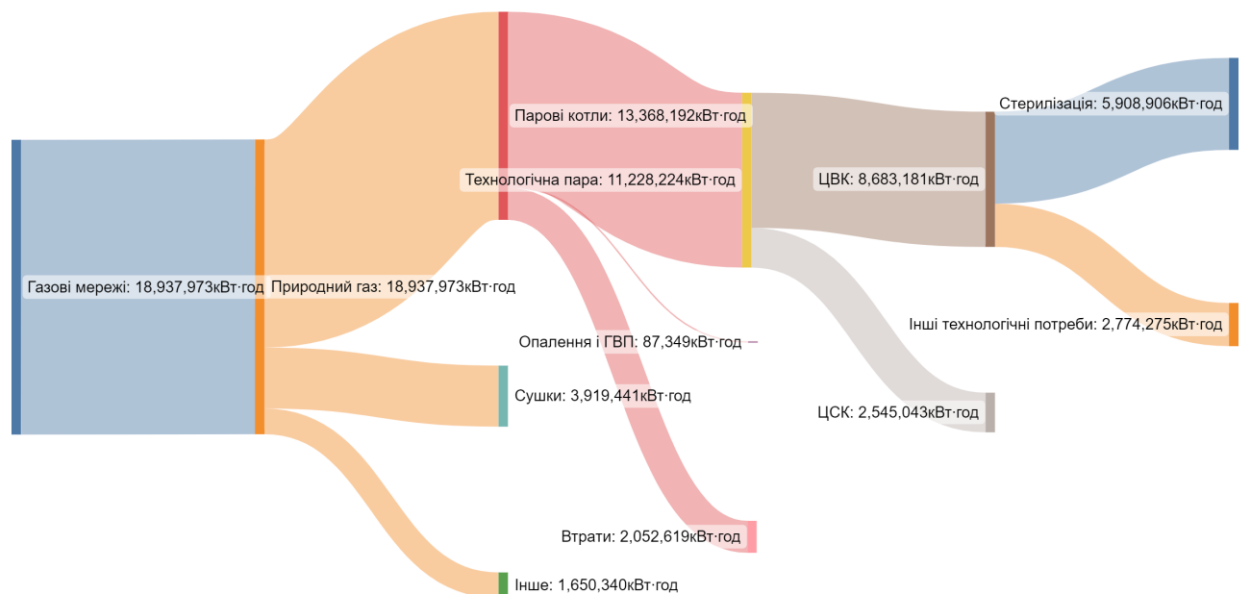


Рисунок 2.22 - Розподіл теплової енергії

Електроенергія в основному використовується різним технологічним обладнанням, таким як подрібнювачі, конвеєри, вентилятори, насоси, екструдери, змішувачі, емульгатори тощо. Охолоджувальні машини та вентилятори споживають велику частку електроенергії. Слід зазначити, що підприємство має плани щодо збільшення виробничих потужностей і потребує збільшення допустимого електричного навантаження.

Приблизний розподіл електричної енергії показано в таблиці 2.10 та рисунку 2.23.

Таблиця 2.10 – Розподіл електроенергії

Місяць	ЕЕ (технологія), кВт-год	ЕЕ, тепловий насос кВт-год	ЕЕ, цех сухих кормів, кВт-год	ЕЕ, цех вологих кормів, кВт-год	ЕЕ, повітряний компресор, кВт-год	ЕЕ, інше, кВт-год
Січень	470218	184103	283322,5	152532,0	18680,0	15683,6
Лютий	493679	173869	298865,7	146536,0	35320,0	12956,8
Березень	517969	202013	298627,0	165535,5	41440,0	12366,4
Квітень	489942	182940	272484,8	166088,5	39520,0	11848,8
Травень	568294	13956	363425,2	162161,0	31280,0	11427,8
Червень	592913	-	368176,5	197952,5	15720,0	11064,0
Липень	655995	-	390426,0	235482,0	19680,0	10407,0
Серпень	614370	-	383984,2	185173,6	32740,1	12472,1
Вересень	588868	33960	367960,1	169035,5	40760,0	11112,8
Жовтень	532070	189685	332623,4	168004,5	19880,0	11561,8
Листопад	513938	212248	326150,8	155490,5	19840,0	12456,2
Грудень	556833	220737	361821,6	158046,0	20640,0	16325,0
Всього	6595088	1413510	4047868	2062038	335500	149682

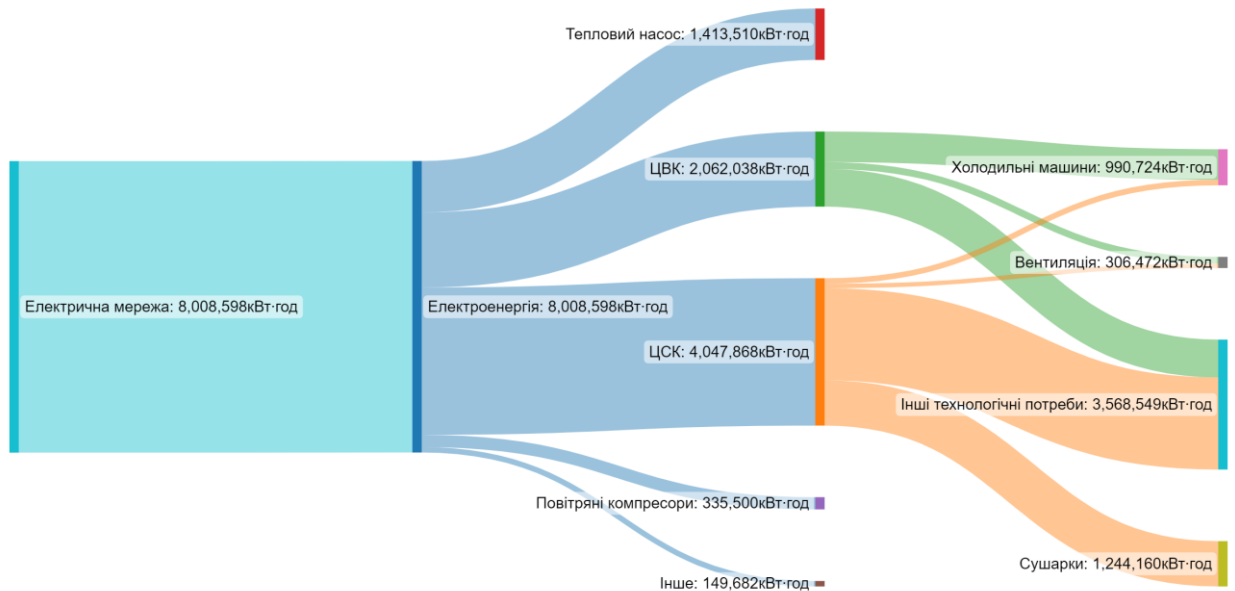


Рисунок 2.23 – Розподіл електроенергії

На рисунку 2.24 та рисунку 2.25 наведено виробничі ланцюги по цехам сухих та вологих кормів відповідно.



Рисунок 2.24 - Виробничий ланцюг цеху сухих кормів

Для виробництва сухих кормів використовується тверда сировина у вигляді гранул при температурі -20°C . Сировина завантажується на конвеєр, та перемішується із рідкою сировиною при температурі 20°C , після чого ідуть

процеси зважування, подрібнення, перемішування, дозування, формування маси, екструдювання, сушка, просіювання вакуумне розпилення, охолодження і пакування. Першочергово сировина проходить етапи механічної обробки, під час якої проходять процеси нагрівання за рахунок тертя рухомих частин обладнання. Слід зауважити, що у виробництвах харчової промисловості такий нагрів є небажаним. Етапи дозування, екструдювання та формування маси включають в себе широке використання стисненого повітря. Процеси сушки та охолодження проходять в обладнанні тунельного типу, це обладнання працює практично безперервно і має високий потенціал до утилізації тепла із сушки та холоду у літній період року із охолоджуючого тунелю.

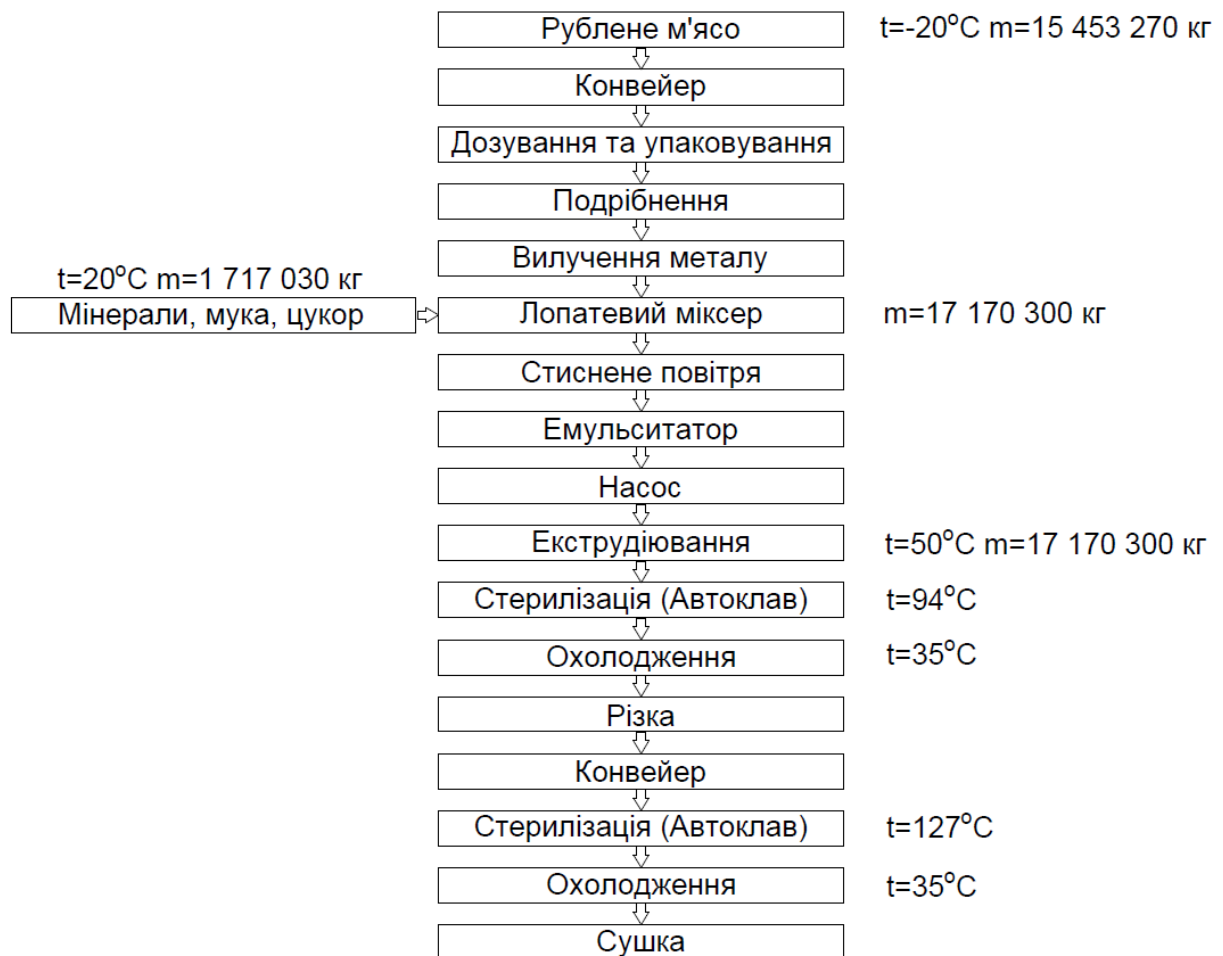


Рисунок 2.25 - Виробничий ланцюг цеху вологих кормів

Цех вологих кормів подібний до цеху сухих кормів, але виробничий ланцюг включає додаткові цикли охолодження та стерилізації. Основною сировиною для виробництва вологих кормів є рублене м'ясо, що так само

проходить цикли механічної обробки з використанням стиснутого повітря після чого іде змішування із додатковими матеріалами. Стерилізація проходить в автоклавах з використанням високопотенційної пари, що після використання зливається в каналізацію. Тепло конденсату після автоклавів також може бути ефективно утилізоване наприклад на потреби ГВП.

2.8 Основне енергоспоживаюче обладнання заводу

Котельня підприємства використовує два парові котли. Характеристики наведені нижче (табл. 2.11).

Таблиця 2.11 – Парові котли

Параметр	Одиниця	VITOMAX 200 M237	LOOS UL-S 3200
Потужність	МВт	2	2
Номінальна витрата газу	м³/ год	225	230
Тиск подачі пари	бар	8	8
Ефективність	%	95,57	94,30

Фотографії обладнання наведено нижче на рисунку 2.26.



Рисунок 2.26 – Парові котли

Сушарки, які використовуються для сушіння гранул, також працюють на газі. В наявності 2 агрегати: ANDRITZ CZD і Sprout Matador потужністю 1200 кВт і 1400 кВт відповідно. Сушарки не обладнані теплоутилізаторами. На одній з установок розпочато роботи щодо встановлення рекуператора. Фотографії агрегатів наведено нижче (Рисунок).



Рисунок 2.27 – Газові сушарки

Основними споживачами виробленої пари є автоклави (стерилізаційні установки). Є чотири установки, кожен автоклав споживає близько 300 л води за цикл, яку потрібно нагріти до 127°C . Зображення наведено нижче (Рисунок 2.28).



Рисунок 2.28 – Стерилізаційні установки (автоклави)

Додатково слід зазначити, що компанія впровадила енергозберігаючий захід, що стосується утилізації тепла від автоклавів. У процесі стерилізації вода в резервуарах повинна бути охолоджена від 127 до 35°C . Частина енергії використовується для забезпечення опалення та гарячого водопостачання в зимовий період за допомогою теплового насоса. Тепловий насос (Oilon) є одним з найбільших споживачів електроенергії.

Крім того, підприємству необхідно зберігати сировину в певних температурних умовах. Наявні холодильні машини (Рисунок 2.29) забезпечують задані умови мікроклімату.



Рисунок 2.29 – Охолоджувальні машини

Компанія також використовує стиснене повітря у виробничому процесі. Теплова енергія від повітряних компресорів (Рисунок 2.30) використовується для забезпечення опалення та гарячого водопостачання однієї з будівель.



Рисунок 2.30 – Повітряний компресор

Висновки до розділу 2

За результатами енергетичного обстеження підприємства було визначено структуру споживання енергетичних ресурсів підприємством. Більша частина енергії що використовується є тепловою і отримується власними газовими паровими котлами, що надає підстави розглядати можливість застосування когенераційних технологій. Проаналізовано виробничі ланцюги цехів з виробництва сухих і вологих кормів, та складено баланс витрат енергетичних ресурсів. Також було встановлено базову лінію енергоспоживання заводу. У

виробничому процесі фігурує велика кількість процесів нагріву (висушування сировини), охолодження (охолоджуючі тунелі) та стерилізації (обробка сировини гарячою парою). Основним енергоспоживаючим обладнанням є саме установки залучені в цих процесах, які мають великий потенціал до утилізації тепла.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Розрахунок заходу із заміни котла

Пропонується замінити 2 працюючих на підприємстві газових парових котла, на твердопаливні котли на щепі для повного покриття навантаження. Існуючі газові котли мають сумарну встановлену потужність на рівні 4 МВт, при цьому їх теплове навантаження складає близько 2 МВт. Тож для забезпечення можливості паралельної роботи котельного обладнання пропонується встановити котли такої ж потужності. Вихідні дані для розрахунку наведено у таблиці 3.1.



Рисунок 3.1– твердопаливний котел

Таблиця 3.1 Вихідні дані для розрахунку заходу із заміни котла

Параметр	Значення
Об'єм заміщення споживання газу, м ³	1740706
Ефективність газового котла η , %	94
Ефективність твердопаливного котла на щепі η , %	80
Калорійність газу, кКал/м ³	8160
Калорійність щепи, кКал/кг	2610

Спочатку знайдемо енергію, яку виділяє при спалюванні у встановленому котлі газ який планується замінити щепою, в кВт·год, виходячи із калорійності газу, за формулою (3.1):

$$W = 1163 \cdot \frac{V \cdot k \cdot \eta_{\text{газ}}}{10^6}; \quad (3.1)$$

де V – об'єм газу, м^3

$k_{\text{газ}}$ – калорійність газу кКал/м^3

$\eta_{\text{газ}}$ – ефективність газового котла.

$$W = \frac{1740706 \cdot 8160 \cdot 1163 \cdot 0,94}{10^6} = 15528\,270 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Тепер знайдемо кількість щепи m (кг), яка необхідна для виробництва кількості енергії W , твердопаливним котлом з ефективністю 80%, за формулою (3.2).

$$m = \frac{W}{1163 \cdot \eta_{\text{тверд}} \cdot k_{\text{щепа}}} \cdot 10^6 \quad (3.2)$$

Де $k_{\text{щепа}}$ – калорійність газу кКал/кг

$\eta_{\text{тверд}}$ – ефективність твердопаливного котла.

$$m = \frac{15528270 \cdot 10^6}{1163 \cdot 0,8 \cdot 2610} = 6394590 \text{ кг}$$

Для розрахунку економії від впровадження заходу приймаємо орієнтовну вартість щепи на даний момент та діючий тариф на природний газ який закуповує підприємство. Тарифи наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – тарифи на енергоносії

Паливо	Одиниці виміру	Ціна за одиницю, грн
Природний газ	м^3	30,084
Щепа	кг	3

Економія (грн/рік) складає різницю між вартістю заміщеного газу та вартістю щепи, тому:

$$E = V \cdot T_1 - m \cdot T_2$$

$$E = 1740706 \cdot 30,084 - 6394590 \cdot 3 = 33183629 \text{ грн/рік}$$

де $T_{1,2}$ – тариф на газ та щепу відповідно.

Встановлення твердопаливного котла з точки зору енергетичної безпеки має включати в себе будівництво складу із паливом для забезпечення виробництва мінімум на тиждень. Тож необхідно провести розрахунок необхідного об'єму складського приміщення для визначення вартості робіт. Склад необхідно обладнати автоматичною системою подачі палива, так звана система «живе дно».

Для визначення об'єму складу необхідно визначити добове споживання щепи. Підприємство працює безперебійно впродовж доби, тому споживання палива котельнею є рівномірним впродовж року. Звідси добове споживання твердого палива:

$$m_{\text{добове}} = \frac{m}{365} = 17519 \text{ кг/добу}$$

Відповідно тижневе споживання буде дорівнювати 61,317 т щепи.

Для розрахунку об'єму складу для такої кількості деревної щепи, необхідно розрахувати об'єм котрий вона займає. На об'єм деревної щепи впливають такі параметри як порода деревини та її вологість. Приймаємо для розрахунку дубову щепу із середньою щільністю 292 кг/м³. Звідси об'єм щепи з запасом для роботи на тиждень становить:

$$V = \frac{61317}{292} = 420 \text{ м}^3$$

Вартість складу на 420 м³ з автоматичною системою «живе дно» коштує 9 040 000 грн з ПДВ, згідно наданої комерційної пропозиції.

Проект із встановлення твердопаливного котла включає в себе капіталовкладення наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - капіталовкладення на впровадження заходу із заміни котла

Позиція	Вартість, грн
Котли із додатковим обладнанням	27360000
Паливний склад	9040000
Монтажні роботи	100000
Загалом	36400000

Простий термін окупності даного заходу визначається із відношення зекономлених коштів до капіталовкладень і становить:

$$T_{\text{окупності}} = \frac{33183629}{36400000} = 1,1$$

3.2 Переведення газової сушарки на тверде паливо

На заводі в цеху сухих кормів встановлено газову сушарку для сировини. За даними обліку споживання газу сушаркою складає 20,69% або 412 701 м³ від загального. Розглядається 2 варіанти переведення сушарки на тверде паливо, а саме:

- а) Заміна сушарки на твердопаливну
- б) Встановлення паро-повітряного теплообмінного апарату

При цьому в обох заходах економія досягається за рахунок різниці тарифу на газ та тверде паливо. Другий варіант розглядається задля збільшення парового навантаження і виробництва пари з перспективою встановлення когенераційної установки на паровій турбіні з протитиском, таким чином збільшивши генерацію КГУ. На рисунку 3.2 наведено схему роботи твердопаливної сушки.

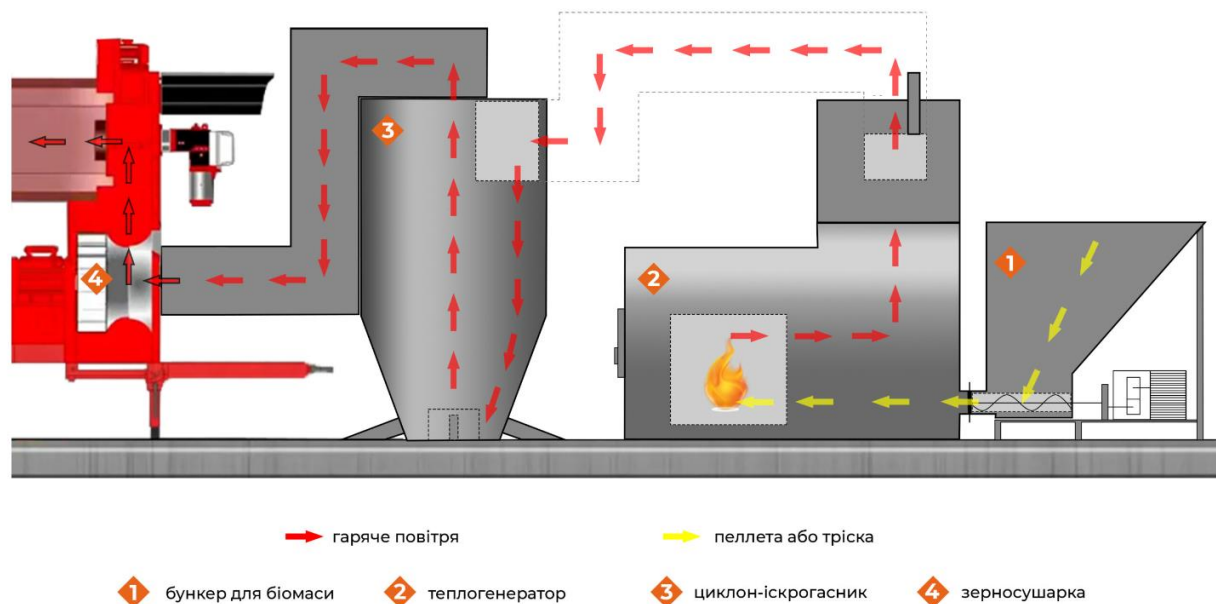


Рисунок 3.2 – схема установки для сушіння на твердому паливі

Установка з твердопаливною сушаркою складається із бункера для біомаси, теплогенератора в якому проходить процес спалювання палива, циклона-іскрогасника в якому гарячі димові гази проходять очистку та рекуператора повітря. Окрім процесу очистки гарячих димових газів циклон іскрогасник виконує функцію захисту повітроводу від займання. Рекуператор в сушці використовується для підігріву повітря на подачі сировиною що вже пройшла процес сушіння та охолоджується для відповідного зменшення витрати палива.

Розрахунок варіанту:

а) Розрахунок проводиться виходячи з кількості теплової енергії, що необхідна для процесу сушіння. За прийнятої калорійності природнього газу в 8160 ккал/м^3 та ефективністю теплогенератора $\eta = 93\%$ знаходимо кількість енергії, що споживається сушкою за рік за формулою 3.1:

$$W = \frac{412 \cdot 701 \cdot 8160 \cdot 1163 \cdot 0,93}{10^6} = 3 \, 642 \, 405 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

За формулою 3.2 знаходимо кількість щепи необхідної для роботи сушки на твердому паливі, при ефективності теплогенератора $\eta = 80\%$:

$$m = \frac{3642\,405 \cdot 10^6}{1163 \cdot 0,8 \cdot 2610} = 1499\,954 \text{ кг}$$

Надалі розрахунок економії від впровадження рахується так само як і для встановлення твердопаливного котла (пункт 3.2):

$$E = 412701 \cdot 30,084 - 1499954 \cdot 3 = 7915\,834 \text{ грн/рік}$$

Капіталовкладення на впровадження наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – капіталовкладення на встановлення сушки

Позиція	Вартість, грн
Сушка	2500000
Теплогенератор	2000000
Циклон	200000
ТО	500000
Загалом	5200000

Розрахунок варіанту:

б) Схема роботи сушки (рис. 3.3).

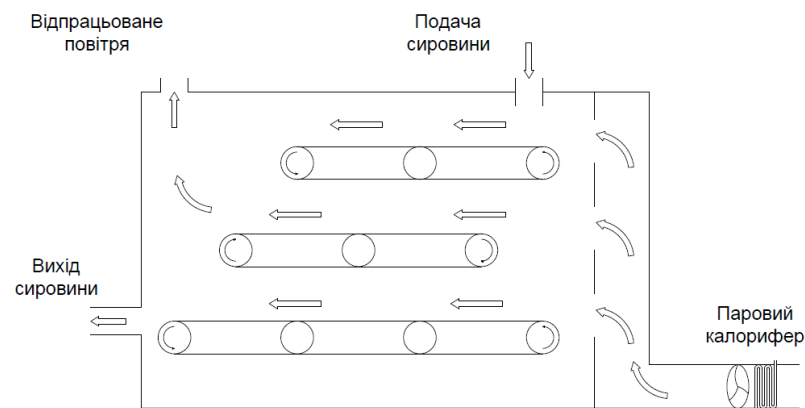


Рисунок 3.3 - Сушка з пароповітряним ТО

Знаходимо погодинну продуктивність сушки $G_{\text{год}}$ (кг/год) виходячи з річного випуску готової продукції $G_{\text{рік}}$ (кг/рік) та кількості годин роботи на рік за формулою 3.3:

$$G_{\text{год}} = \frac{G_{\text{рік}}}{a \cdot b} \quad (3.3)$$

Де a та b – кількість робочих годин та днів відповідно

$$G_{\text{год}} = \frac{34697,4 \cdot 10^3}{22 \cdot 330} = 4779 \text{ кг/год}$$

Знаходимо кількість видяляємої води W (кг/год) з сировини, за формулою 3.4:

$$W = G_{\text{год}} \cdot \frac{w_1 - w_2}{1 - w_1} \quad (3.4)$$

де w_1 та w_2 – початкова та кінцева вологість сировини, %

$$W = 4779 \cdot \frac{0,14 - 0,07}{1 - 0,14} = 389 \text{ кг/год}$$

Сумарна витрата теплоти в сушці знаходиться за формулою 3.5:

$$\Sigma Q = Q_{\text{вип}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{втр}} \quad (3.5)$$

де $Q_{\text{вип}}$ та $Q_{\text{м}}$ – кількість теплоти на випаровування води та нагрів матеріалу, кДж; $Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище, кДж.

За формулою 3.6 знаходимо кількість теплоти необхідну на випаровування:

$$Q_{\text{вип}} = 4,19 \cdot W \cdot (595 + 0,49 \cdot t_{\text{п}} - \theta_1) \quad (3.6)$$

де $t_{\text{п}}$ – температура повітря на виході, К; θ_1 – початкова температура сировини, К.

$$Q_{\text{вип}} = 4,19 \cdot 389 \cdot (595 + 0,49 \cdot 448 - 363) = 735936 \text{ кДж}$$

За формулою 3.7 знаходимо Q_m :

$$Q_m = G_{\text{год}} \cdot c_m \cdot (\theta_2 - \theta_1) \quad (3.7)$$

де c_m – теплоємність висушеного матеріалу, кДж/кг*К; θ_2 – температура сировини на виході із сушки, К.

Теплоємність висушеного матеріалу приймається за довідниковим матеріалами, і становить 3,307 кДж/кг*К.

$$Q_m = 4779 \cdot 3,307 \cdot (403 - 363) = 632166 \text{ кДж}$$

Втрати в сушці такого типу зазвичай складають близько 40%, тому приймаємо, що втрати становлять:

$$Q_{\text{втр}} = (Q_{\text{вип}} + Q_m) \cdot 0,4 = 547\,240 \text{ кДж}$$

Тоді загальна витрата теплоти становить:

$$\Sigma Q = 735936 + 632166 + 547240 = 1915342 \text{ кДж}$$

Якщо загальна годинна витрата теплоти становить 1915342 кДж, або ж 532 кВт·год, тоді річна витрата становитиме:

$$W = 532 \cdot 22 \cdot 330 = 3\,862\,320 \text{ кВт·год}$$

При прийнятій ефективності парового калорифера в 95% та ефективності твердопаливного котла в 80%, витрата щепи на генерацію такої кількості теплоти за формулою (3.2) становитиме

$$m = \frac{3862320 \cdot 10^6}{1163 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 2610} = 1\,674\,227 \text{ кг}$$

Економія при цьому складе 7393015 грн/рік, в таблиці 3.5 наведено капіталовкладення на встановлення парової сушки.

Таблиця 3.5 – капіталовкладення на встановлення парової сушки

Позиція	Вартість, грн
Сушка	2500000
Паровий калорифер	400000
Монтажні роботи	100000
Загалом	3000000

В таблиці 3.6 наведено порівняння економічних показників обох варіантів заходів із заміни сушки.

Таблиця 3.6 – капіталовкладення на встановлення парової сушки

Показник	Твердопаливна	Парова
Вартість, грн	5200000	3000000
Витрата щепи, кг	1499954	1674227
Економія, грн	7915834	7393015
Термін окупності, років	0,65	0,4

Як видно із результатів розрахунку, з точки зору енергоефективності твердопаливна сушка є більш доцільним варіантом, так як різниця по річній витраті щепи між твердопаливною сушаркою та сушаркою з калорифером становить 174273 кг, також перший варіант заходу дає більшу економію хоча і потребує більших капіталовкладень, проте сушарка з калорифером дозволяє збільшити навантаження на виробництво пари тим самим дозволивши збільшити потужність КГУ. Огляд більш доцільного варіанту наведено далі у розділі.

3.3 Захід із встановлення когенераційної установки (КГУ)

Виходячи із інформації наведеної в 2 розділі на підприємстві пропонується встановити КГУ на паровій турбіні з протитиском та пароприготуванням із прямим спалюванням. За такої конфігурації КГУ частина виробленої в котельні пари надходить до парової турбіни генеруючи

електроенергію, інша частина надходить на виробничі потреби. Відпрацьована в турбіні пара проходить через конденсатор та надходить до насоса разом із відпрацьованою технологічною парою, звідки повертається до котлоагрегату. Схема КГУ наведена на рисунку 3.4.

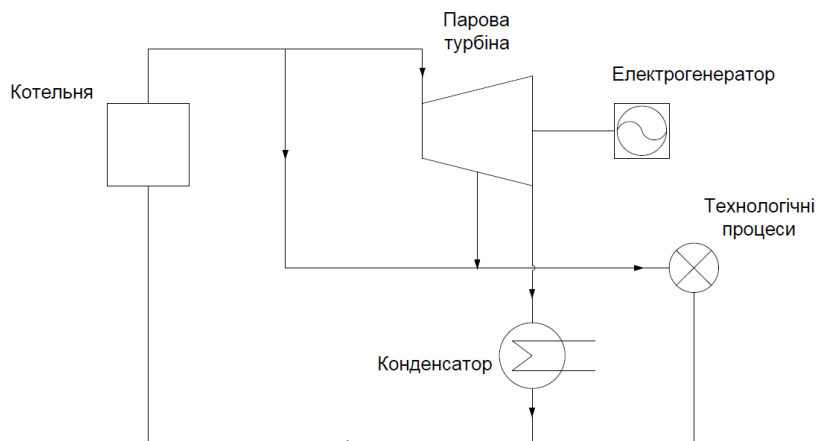


Рисунок 3.4 - КГУ з відбором пари

Паротурбінні установки з протитиском підходять найбільше для даного підприємства так як випускають весь потік пари в процес або установку під необхідним тиском. Важливим параметром КГУ є відношення виробленої теплової енергії до електричної – r , що має значення від 3 до 10 в установках даного типу [1]. Для подальшого розрахунку дане відношення приймається на рівні 5.

Попередньо було розраховано захід по заміні газових котлів на твердопаливні котли на щепі та переведенню сушки на пароповітряний ТО для збільшення навантаження на котли з 2,138 МВт до 2,670 МВт. При прийнятому відношенні теплової генерації до електричної за даного теплового навантаження отримуємо, встановлену електричну потужність когенераційної установки $P_{\text{ел}}$:

$$P_{\text{ел}} = \frac{P_{\text{тепло}}}{r} = \frac{2670}{5} = 534 \text{ кВт}$$

За даними споживання за 2021р. підприємством було спожито 8 008 598 кВт·год електричної енергії. Враховуючи безперервність роботи підприємства середнє електричне навантаження становить:

$$P_{\text{сер}} = \frac{8000598}{22 \cdot 330} = 1\,102 \text{ кВт}$$

Тобто КГУ буде покривати близько 48,5% від електричного навантаження. При цьому на підприємстві неможливо встановити турбіну більшої потужності, адже першочергово потрібно виходити із потреби в тепловій енергії, а отже збільшення потужності турбіни потребує збільшення теплового навантаження.

За даними досліджень [5] вартість такої КГУ складає близько 7 200 € за 1 кВт встановленої потужності. Курс євро приймається станом за офіційним курсом НБУ і становить 38,46 UAH/€ На момент проведення обстеження підприємства, електричну енергію воно закуповувало по ціні 4,38 грн/кВт·год. Обсяг річної генерації складе:

$$W = 534 \cdot 22 \cdot 330 = 3\,876\,840 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Капітальні інвестиції на встановлення КГУ в свою чергу складуть:

$$I = 7200 \cdot 534 \cdot 38,46 = 147871008 \text{ грн}$$

Річна економія розраховується як різниця вартості згенерованої самостійно електричної енергії та затрати на щепу для генерації енергії, кількість щепи розраховується за формулою 3.2:

$$E = 3876840 \cdot 4,38 - 7985108 \cdot 3 = -6974766 \text{ грн/рік}$$

Результати розрахунку показали, що за існуючих нині тарифів економія від заходу із встановлення КГУ на біомасі не покриває інвестиції на впровадження та не дає ніякої економії. Така ситуація пов'язана із тим що на даний момент закуповувати електроенергію із мережі – дешевше ніж генерувати самостійно, тому що вартість 1 кВт·год згенерованого використовуючи дану КГУ становить 6,179 грн.

В таблиці 3.7 приведено результати розрахунків тарифу на електроенергію при різних тарифах на деревну щепу для того щоб вийти на різні терміни окупності заходу тарифу на електроенергію для різних варіантів ціни на деревну щепу.

Таблиця 3.7 - оптимальні тарифи на електричну енергію

Термін окупності	Необхідна економія на рік	Ціна Щепи грн/кг			
		3	4	5	6
		Тариф на електроенергію			
25	5914840,32	7,704	9,764	11,824	13,883
20	7393550,4	8,086	10,146	12,206	14,265
15	9858067,2	8,721	10,782	12,841	14,90
10	14787100,8	9,993	12,053	14,113	16,172

3.4 Використання води після автоклавів

На підприємстві встановлено 3 тунельних автоклави – пристрій для стерилізації сировини широко використовуваний на підприємствах харчової промисловості. Процес стерилізації являє собою обробку сировини парою з температурою приблизно 130 °С, після чого вона конденсується і має температру близько 40 °С. На рисунку_ наведено термографічні знімки автоклаву одразу після процесу стерилізації.

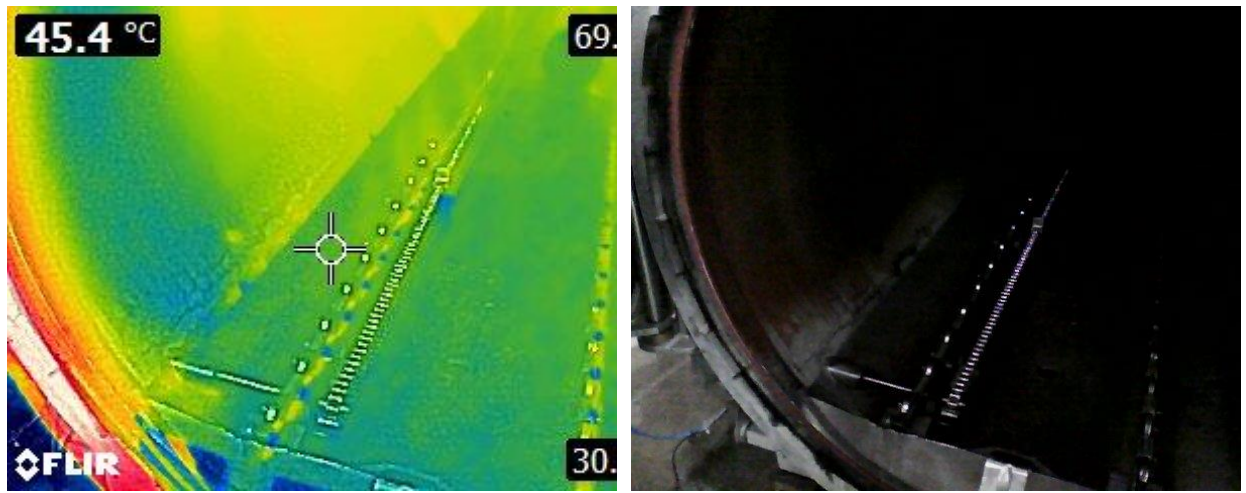


Рисунок 3.5 - Ємність автоклава після циклу стерилізації

Як видно з рисунку 3.5, температура кожуху автоклава після циклу стерилізації становить 45,4 °С. Вода за такої температури може бути ефективно утилізована на підігрів гарячої води першого ступеню перед генераторами пари, що використовується на виробництві.

Даний захід має передбачати:

- Збір конденсату в проміжну ємність
- Встановлення теплообмінного апарату для попереднього підігріву води
- Встановлення теплообмінного обладнання для попереднього підігріву води, що йде на ГВП.

Вода для виробництва пари надходить при температурі в 25 °С, тож економія від заходу визначається кількістю енергії, котру можна заощадити на підігріві води з 25 до 40 °С. За даними наданими підприємством на 1 цикл стерилізації необхідно 92 л води для виробництва чистої пари. За 1 робочий день установка проводить 66 циклів стерилізації, тож загальне використання води на стерилізацію за рік можна визначити так:

$$V = \frac{92 \cdot 66 \cdot 330}{1000} = 2003,76 \frac{\text{м}^3}{\text{рік}}$$

Тоді кількість теплоти необхідної на підігрів води визначається за формулою:

$$Q = V \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1) = 1163 \cdot \frac{2003 \cdot 997 \cdot (40 - 25)}{10^6} = 34\,837 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Де ρ – густина води, кг/м³.

За формулами 3.1 та 3.2 знаходимо необхідну кількість палива необхідну для виробництва такої кількості тепла для двох варіантів підігріву, а саме – існуючим газовим та твердопаливним котлом на щепі запропонованим вище. За результатами обрахунків для трьох установок отримано 12 188 м³ газу або ж 42 898 кг щепи. Орієнтовна вартість впровадження заходу на одну установку складає близько 400 000 грн. Тариф природного газу складає 30,08 грн/м³. В таблиці 3.8 наведено зведені показники заходу для двох варіантів котлів.

Таблиця 3.8 - Показники заходу з утилізації конденсату

Показник	Тип котла	
	Газовий котел	Котел на щепі
Економія енергії, кВт·год	34837	34837
Економія палива, м ³ та кг	12188	42898
Економія грошей, грн	366609	128696
Загальні інвестиції, грн	1200000	1200000
Термін окупності, роки	3	9,3

За терміном окупності заходу, газовий котел показує в 3 рази кращі результати ніж котел на щепі, що пов'язане із дорожчою вартістю тарифу.

3.5. Генерація СЕС

Підприємство має доступні площу дахів для розміщення сонячної електростанції (СЕС). Встановлення фотоелектричних панелей дозволить зменшити споживання електроенергії. Крім того, цей захід дасть деяку додаткову електричну потужність, зокрема в літній період.

Пропоновані частини даху для встановлення панелей: частина даху над цехом сухих кормів, південна частина даху над адміністративними будівлями, дахи над складами та південна частина даху над цехом вологих кормів наведені на рисунку 3.6 .

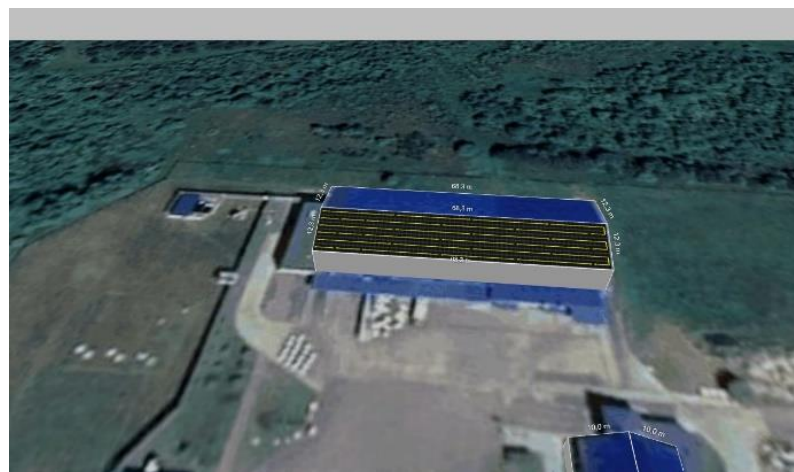
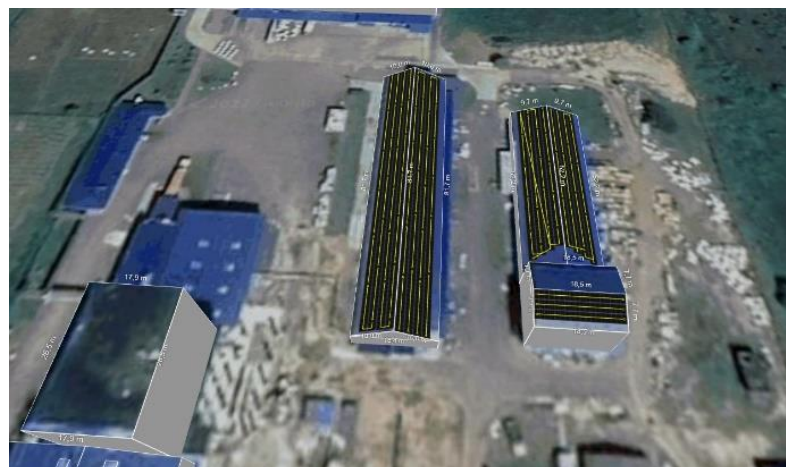


Рисунок 3.6 – Планування даху під сонячні панелі

Загальна характеристика системи сонячних панелей:

- СЕС на даху цеху сухих кормів: 495 панелей, 188,1 кВт;
- СЕС на дахах адмінбудівлі та складів: 1066 панелей, 405,1 кВт;
- СЕС на даху цеху вологих кормів: 402 панелі, 152,8 кВт.
- Всього: 1963 панелі, 746 кВт.

Розрахункова кількість енергії, виробленої сонячними панелями, наведена нижче в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Виробництво електроенергії сонячними панелями

Генерація	Цех сухих кормів, кВт·год	Адмінбудівля та склад, кВт·год	Цех вологих кормів, кВт·год	Загальна генерація, кВт·год	Частка від загального споживання, %
Січень	4490	7133	4629	16252	2,5
Лютий	6275	11253	6297	23825	3,6
Березень	12984	26992	12423	52399	7,3
Квітень	20288	43218	18034	81540	12,1
Травень	24105	51243	20042	95390	16,4
Червень	26324	56828	21872	105024	17,7
Липень	26669	56876	22119	105664	16,1
Серпень	21974	46189	18776	86939	14,2
Вересень	15071	32402	14326	61799	9,9
Жовтень	9960	19612	9706	39278	5,4
Листопад	4896	8659	4936	18491	2,5
Грудень	3302	5232	3497	12031	1,5
Всього	176 338	365 637	156 657	698 632	8,7

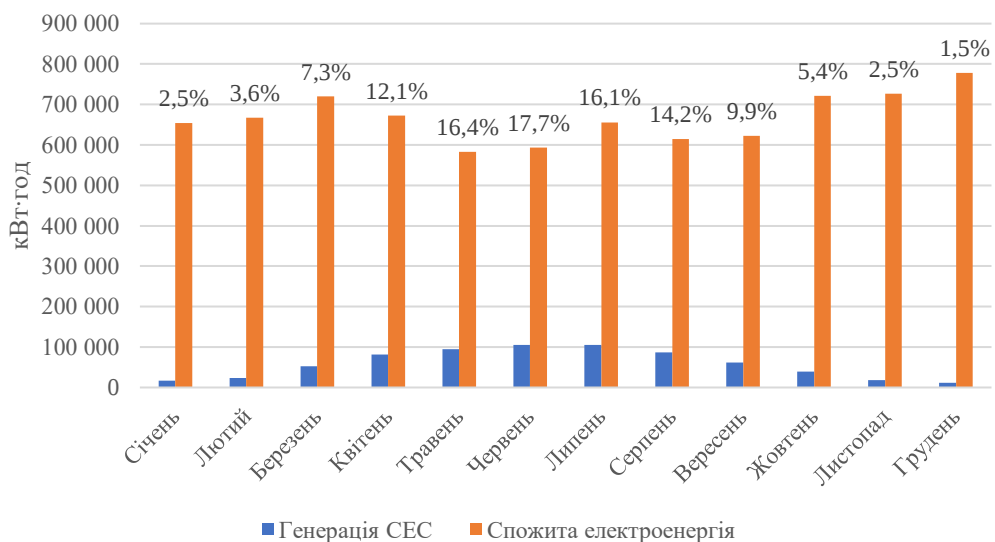


Рисунок 3.7 – Виробництво електроенергії сонячними панелями та щомісячне споживання

Нижче наведено порівняння дня з піковою генерацією та графіку електричного навантаження для літнього дня (рис. 3.8). Згідно з графіком, сонячна електростанція має бути спроектована таким чином, щоб її пікова

генерація не перевищувала доступне навантаження. У цьому випадку пікова генерація становить 600 кВт.

Рекомендації по установці сонячних панелей:

- Термін експлуатації не менше 20 років;
- ККД не менше 16%;
- Тип панелей – монокристалічні.

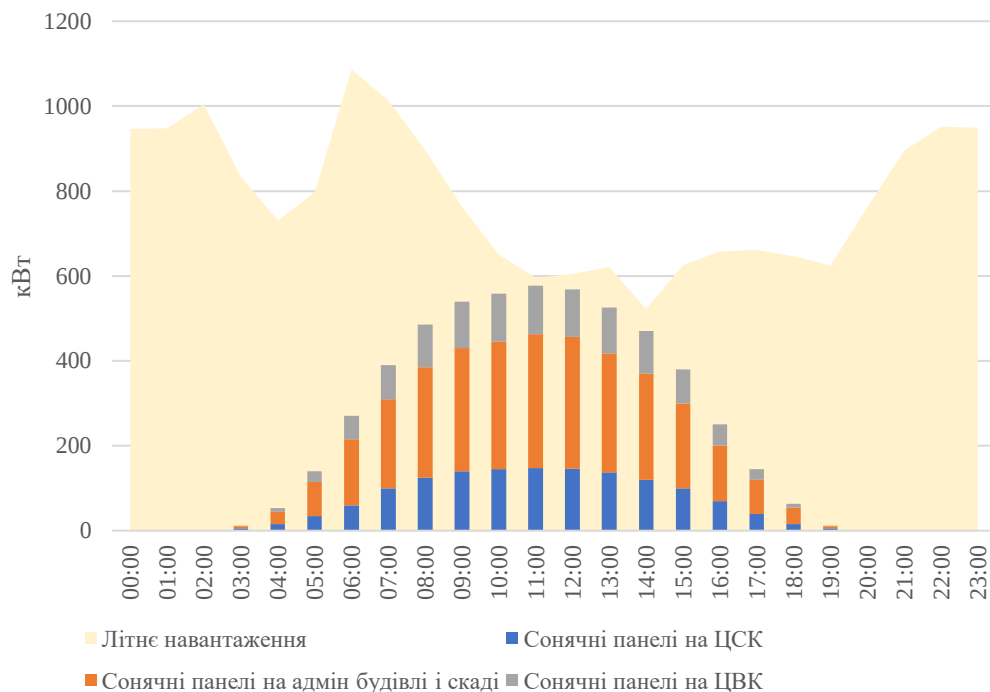


Рисунок 3.8 – Графіки генерації та навантаження на літній день

Результати розрахунків наведені нижче в таблиці 3.10. Розрахунки зроблені з припущенням, що вся вироблена енергія буде спожита, а не буде продаватись в мережу.

Таблиця 3.10 – Параметри заходу установки сонячних панелей

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Економія електроенергії	кВт·год	698632
Економія коштів	грн	3060008
Інвестиції	грн	25032924
Простий термін окупності	років	8,18

Слід зазначити, що перед встановленням сонячних панелей на дахах потрібно виконати експертизу несучої здатності та, за необхідності, виконати підсилення конструкцій дахів. З цим можуть бути пов'язані додаткові капіталовкладення.

Висновки до розділу 3

В даному розділі був запропонований ряд заходів з поліпшення енергорезультативності підприємства. У якості основного заходу розглядалося переведення теплової генерації підприємства з природнього газу на щепу, що показало достатньо малий термін окупності за рахунок великої різниці в тарифі. Водночас при переведенні підприємства на твердопаливні котли впровадження інших заходів видається менш ефективним з фінансової точки зору. Захід зі встановлення когенераційної установки виявився неокупним при існуючих тарифах на електроенергію і видається можливим до реалізації тільки за умови забезпечення підприємства паливом для котлів самостійно. Було проведено розрахунок оптимальних тарифів на електроенергію при різних варіантах ціни на щепу для виходу на певні терміни окупності заходу. Також було запропоновано низку інших заходів у двох варіантах, а саме з використанням газу або щепи для поліпшення енергетичної ефективності та безпеки підприємства.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЛЯ КОТЕЛЬНІ»

4.1 Опис ідеї проекту

В даному розділі описано ідею та кроки для реалізації стартап проекту «реалізація заходів з енергоефективності для котельні». Розробимо бізнес модель стартапу яка буде складатися з 4-х елементів: інфраструктура, пропозиція, споживач та фінанси.

Головна відмінність стартапу від звичайного бізнесу - стартап має інноваційну основу (нові технології і продукти), це бізнес, який відкривається вперше і не має аналогів в країні або світі. Більшість стартапів вимагає великих інвестицій і має високу рентабельність. Модель виконана у вигляді рисунку (рисунок 4.1).

Детальніше розглянемо кожен складову моделі:

- Пропозиція – це те, що безпосередньо планується зробити, а саме провести енергетичний аудит з встановлення базового рівня енергоефективності, розробкою заходів з енергоефективності та їх подальшої реалізації. Для підвищення рівня енергоефективності, та отримання економії.

- Інфраструктура – частина моделі, яка показує перелік всіх необхідних ресурсів, видів діяльності та виконавців для впровадження стартапу.

- Споживач – ті особи, які є потенційними споживачами/користувачами продукту, що планується розробити. Такими є котельні, на прикладі яких розроблявся стартап. Тому стартап актуальний для інших котельних, та схожих за призначенням та обладнанням об'єктів.

- Фінанси – це здебільшого грошові ресурси, які необхідні для впровадження і реалізації стартапу, існує 2 категорії фінансових ресурсів в розрізі задачі: капітальні витрати(планується використати для безпосередньо реалізації проекту), експлуатаційні(використовується для підтримання роботи проекту), перша категорія витрат одноразова, а друга повторюється в часі.



Рисунок 4.1 – Бізнес модель стартапу

Далі у таблиці 4.1 зобразимо зміст ідеї та напрями застосування та вигоди від впровадження стартапу.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди
Пропонується впровадження проведення енергетичного аудиту для котельні, що буде включати в себе встановлення базового рівня енергоспоживання, пропозиції та заходи щодо підвищення рівня енергоефективності. А також подальшу реалізацію заходів і отримання економії від них	Споживачі електроенергії	Дозволить зменшити споживання теплової та електричної енергії котельні, при незмінному рівні продуктивності роботи. Покращення стану обладнання котельні в результаті модернізації чи заміни. Більш повне розуміння енергетичних процесів за рахунок визначення паливно-енергетичних балансів.
	Споживачі теплової енергії	
	Потенційно: інше обладнання котельної	

4.2 Перелік та аналіз можливих заходів з енергоефективності

У якості можливих заходів з енергоефективності оберемо ті, що були запропоновані в розділі 3. Проведемо їх енергетично фінансовий аналіз, для цього зведемо всі показники заходів в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Перелік та показники ЗЕЗ

№	ЗЕЗ	Економія, грн/рік	Капітальні витрати, грн	Термін окупності, рік
1	Заміна котла	33183629	36400000	1,1
2	Переведення газової сушарки на тепло	7915834	5200000	0,66
3	Встановлення когенераційної установки	-6974766	147871008	-
4	Використання води після автоклавів(газовий котел)	366609	1200000	3
	Використання води після автоклавів(котел на щепі)	128969	1200000	9,3
5	Встановлення СЕС	3060008	25032924	8,18

Бачимо, що не всі запропоновані мають позитивну економію. Тому до імплементації рекомендовано 1,2 та 4 заходи в першу чергу, так як вони мають додатню економію. Першим бажано реалізувати захід №2 переведення газової сушарки на тепло. Так як їх реалізація дозволить отримувати економію коштів швидше за інші. Другим захід №1, потім захід №4. Захід №3 встановлення когенераційної установки може бути реалізований при зміні зовнішніх обставин, а саме підвищенні ціни на електричну енергію, можлива зміна цін та потенціальна економія вказана в таблиці 4.3. Також в умовах Української сучасності КГУ має ще один бонус, а саме незалежність від централізованого електропостачання. В умовах можливих відключень електроенергії, цей захід може бути актуальним і використано як автономне джерело енергії. Але враховуючи те, що встановлення СЕС окрім економії також є можливістю для автономного електрозабезпечення, захід №3 актуальний лише у випадку резервації живлення.

Таблиця 4.3. – Коригування економії для КГУ

Термін окупності	Необхідна економія на рік	Ціна Щепи грн/кг			
		3	4	5	6
		Тариф на електроенергію			
25	5914840,32	7,704	9,764	11,824	13,883
20	7393550,4	8,086	10,146	12,206	14,265
15	9858067,2	8,721	10,782	12,841	14,90
10	14787100,8	9,993	12,053	14,113	16,172

З таблиці 4.3 бачимо, що захід №3 навіть при найкращих умовах має термін окупності 10 років, це найгірший показник серед заходів.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо та складемо таблиці факторів, загрожують та сприяють реалізації стартапу в сучасних Українських умовах(таблиці 4.4 та 4.5 відповідно). Такий аналіз важливий для розуміння ризиків реалізації проекту, та його потенційних вигід.

Таблиця 4.4 – Фактори, що загрожують реалізації проекту

№	Фактор	Пояснення
1	Погіршення економічної ситуації	Це може призвести до збільшення вартості обладнання та робіт по встановленню та обслуговуванню нових агрегатів, та ремонту і модернізації існуючих
2	Припинення роботи в Україні компаній і фондів, що фінансують чи допомагають впроваджувати ЗЕЗ	Припинення роботи в Україні даних компаній може призвести до того, що фінансувати заходи з енергоефективності для комунального підприємства буде значно складніше, а через складну фінансову ситуацію в країні і світі, питання фінансування стане ще гостріше
3	Припинення роботи в Україні компаній, що проводять енергетичні аудити	Приведе до зменшення конкуренції на ринку, та як наслідок, до підвищення ціни на послуги
4	Припинення або зменшення фінансування державних фондів з енергоефективності	Може призвести до зменшення можливостей щодо реалізації заходів з енергоефективності, так інших енергоефективнихх проектів

Таблиця 4.5 – Фактори, що сприяють реалізації проекту

№	Фактор	Пояснення
1	Економічний ріст	Наповнення бюджету коштами з економічним ростом може призвести до виділення більшої кількості грошей для реалізації проектів комунальних установ
2	Поява нових міжнародних фондів та енергосервісних компаній	Поява нових фондів буде означати більше можливостей отримати кошти на реалізацію проекту, а створення нових енергосервісних компаній буде означати появу більшої якості підрядників за мені гроші, так як збільшиться конкуренція
3	Розвиток технологій	З розвитком технологій, вартість впровадження заходів з енергозбереження може знизитись, так як технології будуть більш доступними та мати вищий показник ефективності
4	Поява нових державних ініціатив	Зараз у Україні діють державні програми, що спонукають до підвищення рівня енергетичної ефективності, поява нових ініціатив може покращити цю тенденцію, та можливостей до енергоефективності стане ще більше
5	Розвиток і популяризація енергоефективності	В світі спостерігається тренд на енергоефективність, розвиток цього напрямку і його популяризація може призвести до підвищення попиту на енергоефективність, а отже і появу нових гравців і продуктів на ринку енергетичних послуг

Проведемо SWOT аналіз. SWOT-аналіз (сильні сторони, слабкі сторони, можливості та загрози) — це система, яка використовується для оцінки конкурентної позиції компанії та розробки стратегічного планування. SWOT-аналіз оцінює внутрішні та зовнішні фактори, а також поточний і майбутній потенціал.

SWOT-аналіз призначений для полегшення реалістичного, заснованого на фактах і даних погляду на сильні та слабкі сторони організації, ініціатив або в її галузі. Організація повинна підтримувати точність аналізу, уникаючи попередньо сформованих переконань або сірих зон і натомість зосереджуючись на контекстах реального життя. Компанії повинні використовувати його як посібник, а не обов'язково як план до дій. Традиційний метод SWOT — аналізу дозволяє провести детальне дослідження зовнішнього й внутрішнього середовища. Результатом раціонального SWOT-аналізу, спрямованого на формування узагальненого інформаційного потенціалу, повинні з'явитися ефективні рішення, що стосуються відповідної реакції (впливу) суб'єкта (слабкої, середньої й сильної) відповідно до сигналу (слабкому, середньому або сильному) зовнішнього середовища.

- SWOT-аналіз — це техніка стратегічного планування, яка надає інструменти оцінки.

- Визначення основних сильних і слабких сторін, можливостей і загроз веде до аналізу на основі фактів, нових поглядів і нових ідей.

- SWOT-аналіз залучає внутрішні джерела інформації (сильні та слабкі сторони конкретної компанії), а також зовнішні сили, які можуть мати неконтрольований вплив на рішення (можливості та загрози).

- SWOT-аналіз працює найкраще, коли різні групи або голоси всередині організації можуть вільно надавати реалістичні дані, а не прописані повідомлення.

- Результати SWOT-аналізу часто синтезуються для підтримки однієї мети або рішення, яке стоїть перед компанією.

Сильні сторони описують, у чому організація перевершує і що відрізняє її від конкурентів: сильний бренд, база лояльних клієнтів, сильний баланс,

унікальна технологія тощо. Наприклад, хедж-фонд міг розробити власну торгову стратегію, яка повертає ринкові результати. Потім він повинен вирішити, як використовувати ці результати для залучення нових інвесторів. У нашому випадку це, те що однозначно стане краще після імплементації стартап проекту.

Слабкі сторони заважають організації працювати на оптимальному рівні. Це сфери, у яких бізнес потребує вдосконалення, щоб залишатися конкурентоспроможним: слабкий бренд, обіг, вищий за середній, високий рівень боргу, неналежний ланцюжок поставок або брак капіталу. У випадку зі стартапом це можуть бути погіршення роботи котельної, або негативні наслідки реалізації стартапу.

Можливості стосуються сприятливих зовнішніх факторів, які можуть надати організації конкурентну перевагу. Наприклад, якщо країна знижує тарифи, виробник автомобілів може експортувати свої автомобілі на новий ринок, збільшуючи продажі та частку ринку. Для котельні можливості можуть бути розглянуті як потенційні вигоди. Наприклад, підвищення тарифів на електроенергію може зробити захід окупним.

Загрози стосуються факторів, які можуть завдати шкоди організації. Наприклад, посуха є загрозою для компанії, що виробляє пшеницю, оскільки може знищити або знизити врожайність. Інші поширені загрози включають такі речі, як зростання вартості матеріалів, зростання конкуренції, обмеження пропозиції робочої сили. і так далі. Для стартапу з котельнею загрозами можна вважати ситуації, що можуть нівелювати сильні сторони, або призвести до збитків.

На рисунку 4.2 наведено SWOT(Strength-Weaknesses-Opportunities-Threats) аналіз стартап проекту.

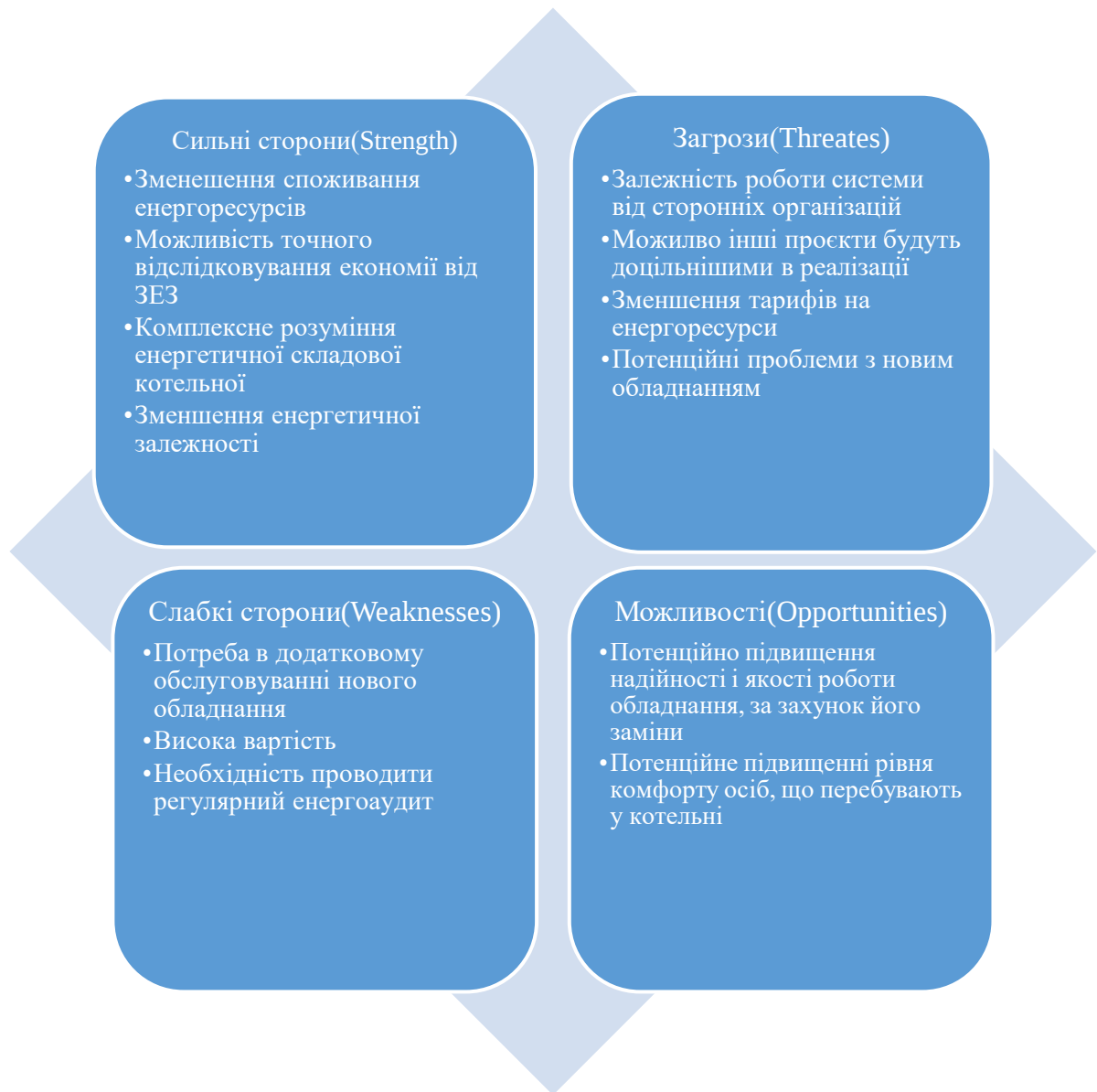


Рисунок 4.2 – SWOT-аналіз стартап проекту

Для уникнення загроз потрібний якісний вибір підрядників, закупка надійного обладнання. А також потрібно розглянути альтернативні фінансові чи енергетичні інструменти, так як вони можуть бути більш актуальними ніж реалізація стартапу. Для реалізації можливостей необхідно закуповувати якісне обладнання та обслуговувати його відповідно до технічних вимог.

4.4 Організація реалізації стартап проекту

Для реалізації проекту необхідна буде команда, сформована керівництвом котельні, вона буде включати:

- Менеджмент котельної;
- Головний інженер;

- Бухгалтера;

- Юриста;

Ці особи складають календарний графік-план реалізації проекту, приклад якого показано в таблиця 4.6. Значимо, що через комплексність та визначення меж роботи впровадження базового рівня енергоспоживання та проведення енергетичного аудиту важко оцінити вартість її впровадження.

Таблиця 4.6 – Календарний графік реалізації стартап-проекту

№	Зміст етапу	Період реалізації(вказано номер місяця з початку виконання робіт)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Підготовка документів та вимог до стартапу	X											
2	Створення інструкцій для осіб, що будуть залучені у реалізації		X										
3	Фінансові розрахунки та кошторис		X	X									
4	Підготовка тендерної документації				X								
5	Проведення тендерів, результатами яких є вибір виконавців				X								
6	Виконання виконавцями(підрядниками) своїх обов'язків (аудит, реалізація заходів)					X	X	X	X	X	X		
7	Перевірка якості виконання робіт(внутрішній аудит)											X	
8	Введення системи в експлуатацію												X

Під підрядниками мають на увазі компанії, які виконують наступний спектр робіт:

- Проведення енергетичного аудиту;

- Розробка заходів з енергоефективності;

- Закупівля обладнання і матеріалів, та впровадження ЗЕЗ;

Загальна вартість робіт складе порядку 70 тис. – 1 млн. доларів США, оцінки приблизні, так як енергоаудит, потребує визначених меж і зазвичай не

всі рекомендовані заходи можуть бути імплементовані. До того ж не визначеним є перелік заходів які є можливість впровадити.

Висновки до розділу 4: Сенс стартапу заключається у проведенні енергетичного аудиту, в результаті якого будуть розроблені заходи з енергоефективності, що в подальшому будуть реалізовані за власний кошт та або з допомогою відповідних фондів чи державних програм. В результаті опису ідеї стартап проекту сформовано бізнес модель яка включає в себе 4 основні компоненти, а саме: інфраструктуру, фінанси, пропозицію та споживачів, якими є котельні та інші схожі за призначенням та обладнанням відділи. Сформовано перелік можливих ЗЕЗ, та показано потенційну економію коштів та енергоресурсів від них, при реалізації економія становить до 30%. Проаналізовано також ринкові елементи стартапу, а саме: створено аналіз загроз і можливостей реалізації проєкту, створено SWOT аналіз та надано рекомендації, щодо уникнення загроз і реалізації можливостей. Розроблено календарний графік-план реалізації стартапу, який включає в себе всі необхідні етапи для впровадження базового рівня енергоефективності, орієнтовний час реалізації складає 12 місяців.

ВИСНОВОК

У дисертації наведено теоретичні відомості про обладнання для генерації теплової і електричної енергії з використанням твердої біомаси у якості палива. Отримані результати можуть використовуватись для впровадження запропонованих рішень з метою енергомодернізації котельної заводу.

1. В результаті огляду видів біопалива, тепло та електрогенеруючого обладнання було проаналізовано доступні на сьогоднішній день технології альтернативної енергетики і визначено найбільш доцільну конфігурацію обладнання для застосування на підприємстві з виготовлення кормів. У якості альтернативного виду палива було обрано деревну щепу, як найбільш доступний у регіоні розміщення заводу ресурс. Для виробництва теплової енергії обрано твердопаливний котел з киплячим шаром без використання газифікації, так як цей процес потребує додаткової утилізації тепла. Для розгляду можливості генерування електричної енергії на заводі при використанні твердопаливного котла доцільно буде розглянути можливість використання парової турбіни.

2. За результатами енергетичного обстеження підприємства було визначено структуру споживання енергетичних ресурсів підприємством. Більша частина енергії що використовується є тепловою і отримується власними газовими паровими котлами, що надає підстави розглядати можливість застосування когенераційних технологій. Проаналізовано виробничі ланцюги цехів з виробництва сухих і вологих кормів, та складено баланс витрат енергетичних ресурсів. Також було встановлено базову лінію енергоспоживання заводу. У виробничому процесі фігурує велика кількість процесів нагріву (висушування сировини), охолодження (охолоджуючі тунелі) та стерилізації (обробка сировини гарячою парою). Основним енергоспоживаючим обладнанням є саме установки залучені в цих процесах, які мають великий потенціал до утилізації тепла.

3. В даному розділі був запропонований ряд заходів з поліпшення енергорезультативності підприємства. У якості основного заходу розглядалося переведення теплової генерації підприємства з природнього газу

на щепу, що показало достатньо малий термін окупності за рахунок великої різниці в тарифі. Водночас при переведенні підприємства на твердопаливні котли впровадження інших заходів видається менш ефективним з фінансової точки зору. Захід зі встановлення когенераційної установки виявився неокупним при існуючих тарифах на електроенергію і видається можливим до реалізації тільки за умови забезпечення підприємства паливом для котлів самостійно. Було проведено розрахунок оптимальних тарифів на електроенергію при різних варіантах ціни на щепу для виходу на певні терміни окупності заходу. Також було запропоновано низку інших заходів у двох варіантах, а саме з використанням газу або щепи для поліпшення енергетичної ефективності та безпеки підприємства.

4. Сенс стартапу заключається у проведенні енергетичного аудиту, в результаті якого будуть розроблені заходи з енергоефективності, що в подальшому будуть реалізовані за власний кошт та або з допомогою відповідних фондів чи державних програм. В результаті опису ідеї стартап проекту сформовано бізнес модель яка включає в себе 4 основні компоненти, а саме: інфраструктуру, фінанси, пропозицію та споживачів, якими є котельні та інші схожі за призначенням та обладнанням відділи. Сформовано перелік можливих ЗЕЗ, та показано потенційну економію коштів та енергоресурсів від них, при реалізації економія становить до 30%. Проаналізовано також ринкові елементи стартапу, а саме: створено аналіз загроз і можливостей реалізації проекту, створено SWOT аналіз та надано рекомендації, щодо уникнення загроз і реалізації можливостей. Розроблено календарний графік-план реалізації стартапу, який включає в себе всі необхідні етапи для впровадження базового рівня енергоефективності, орієнтовний час реалізації складає 12 місяців.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Biomass CHP Implementation Guide Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.seai.ie/business-and-public-sector/business-grants-and-supports/support-scheme-renewable-heat/SEAI-Biomass-CHP-Implementation-Guide.pdf>
2. Biomass CHP technologies Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.academia.edu/2308178/Biomass_CHP_technologies
3. Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies U. S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership Електронний ресурс. Режим доступу: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/biomass_combined_heat_and_power_catalog_of_technologies_v.1.1.pdf
4. Combined heat and power – additional guidance for renewable chp Електронний ресурс. Режим доступу: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/941762/additional-guidance-chp-part-6.pdf
5. Pantaleo A, Ciliberti P, Camporeale S, Shah N (2015) Thermo-economic assessment of small scale biomass CHP: steam turbines vs ORC in different energy demand segments, Proceedings of 7th ICAE, Abu Dhabi, March 28-31 Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.819>
6. Shankar Ganesh Pariasamy, Vinod Kumar Venkiteswaran, Jeyanandan Kumar and Mohamed M. Awad Industrial CHP with steam systems: a review of recent case studies, trends and relevance to Malaysian industry Energies 2022, 15(20), 7491; Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/en15207491>
7. Shunyong Yin, Jianjun Xia and Yi Jiang, Characteristics Analysis of the Heat-to-Power Ratio from the Supply and Demand Sides of Cities in Northern China Energies ,т. 13, № 1, С. 1 – 21, 2020. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/338379670_Characteristics_Analysis_of_the_Heat-to-

8. Гелету́ха Г. Г., Же́lezна Т. А., Три́бой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні. – 2014.
9. ГОСТ 15815-83* Щепы технологическая. Технические условия [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.vashdom.ru/gost/15815-83/>
10. Державна служба Статистики України Електронний ресурс. Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/sg/ksgp/ksgp_u/ksgp_11_u.htm
11. Державне агентство лісових ресурсів України Електронний ресурс. Режим доступу: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> (дерево)
12. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання (ISO 50001:2018, IDT). Київ, ДП «УкпНДНЦ», 2020, 33 с
13. Загальна характеристика лісів України Електронний ресурс. Режим доступу: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini>
14. Міністерство аграрної політики і продовольства України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://minagro.gov.ua/news/v-ukrayini-zavershena-posivna-kampaniya-2022> (Розділ 1 пожнивні рештки)
15. Перспективи Вирощування та використання енергетичних культур в Україні. Аналітична записка БАУ № 10 / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Же́lezна, О.В. Три́бой. URL: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paperuabio-10-ua.pdf>.
16. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні / Г.Г. Гелету́ха, Т.А. Же́lezна // Промышленная теплотехника. — 2017. — Т. 39, № 2. — С. 60-64.

17. Теплотворна здатність паливних брикетів і деяких видів палива.
Електронний ресурс. Режим доступу:
https://bioekoprom.com.ua/ua/novini/teplotvornaya_sposobnost_toplivnyih_briketov_i_nekotoryih_vidov_topliva/