МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота

перший (бакалаврський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: Аналіз ефективності споживання електроенергії термічною ділянкою

Виконав: студент 4 курсу, ГР.6.1413-с2-2
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(назва освітньої програми)
Нужний А.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н. доц.. Єрофєєва А.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент Коломієць Д.М..
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Потебні Ю.М._____
Кафедра____електричної інженерії та кіберфізичних систем_____
Рівень вищої освіти____перший (бакалаврський)_рівень_____
Спеціальність __141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка_
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., доц.__Д.М. Морозов
«___»_____2026__року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

_____Нужному Артуру Вікторовичу_____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи Аналіз ефективності споживання електроенергії термічною ділянкою _____
керівник роботи ____Єрофєєва А.А., к.т.н., доц._____
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «_23_» _грудня__205__року №_2833 - с_____
2 Строк подання студентом роботи _____11 червня 2026 р._____
3 Вихідні дані до роботи: найбільшу частку у структурі витрат на енергоносії становить теплова енергія (63%), природний газ (25%) та електроенергія (12%).
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Аналіз потенціалу та шляхів підвищення енергоефективності системи енергозабезпечення 2) Обґрунтування та розрахунок енергозбережних заходів на підприємстві 3) Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності енергозбережних заходів
5 Перелік графічного матеріалу _1 Аналіз енергоспоживання та витрат на виготовлення одиниці продукції 2) Схема однолінійна електропостачання цеху3) Споживання енергетичних ресурсів термічною дільницею4) Схема точок замірів теплотехнічного контролю газової печі 5) Утилізація відходів виробництва

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Єрофєєва А.А., к.т.н., доц.		
Розділ 2	Єрофєєва А.А., к.т.н., доц.		
Розділ 3	Єрофєєва А.А., к.т.н., доц.		

7 Дата видачі завдання 01.02.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз потенціалу та шляхів підвищення енергоефективності системи енергозабезпечення	01.03.2026	
2	Обґрунтування та розрахунок енергозбережних заходів на підприємстві	01.04.2026	
3	Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності енергозбережних заходів	10.05.2026	

Студент _____ Нужний А.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ А.А. Єрофєєва
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ С.В. Башлій
(підпис) (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 62 сторінки, 12 рисунків, 15 таблиць, 25 джерел літератури.

У кваліфікаційній роботі здійснено комплексний аналіз поточного стану системи енергопостачання об'єкта дослідження. На основі проведеного моніторингу та розрахунків виявлено ключові осередки втрат як теплової, так і електричної енергії, а також встановлено основні причини їх виникнення.

За результатами аналізу розроблено й обґрунтовано ряд технічних і організаційних рішень, спрямованих на оптимізацію енергоспоживання, підвищення загального рівня енергоефективності та мінімізацію непродуктивних витрат ресурсів. Здійснено техніко-технологічний підбір сучасного високоефективного обладнання, необхідного для реалізації запропонованих енергозберігаючих заходів.

В економічній частині роботи виконано детальний розрахунок капітальних інвестицій, строку окупності та оцінку чистого дисконтованого доходу (NPV). Отримані показники підтверджують високу економічну доцільність та фінансову привабливість упровадження розроблених технологій.

СИСТЕМА ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВТРАТИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ВИБІР ОБЛАДНАННЯ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 Аналіз потенціалу та шляхів підвищення енергоефективності системи енергозабезпечення 9
1.1 Оцінка стану та виробничої структури об'єкта дослідження 9
1.2 Аналіз структури та динаміки енергоспоживання 12
1.3 Система теплопостачання підприємства 15
1.4 Аналіз енергоспоживання термічної дільниці (2023–2026 рр.) 18
1.5 Пропонований комплекс енергозберігаючих заходів 27
1.6 Аналіз можливості відключення зайвих вентиляторних установок цехів основного виробництва 29
1.7 Аналіз можливості децентралізації системи теплопостачання термічної дільниці 31
2 Обґрунтування та розрахунок енергозбережних заходів на підприємстві……...32
2.1 Визначення та розрахунок теплових навантажень об'єкта 32
2.2 Утилізація теплової енергії відхідних газів термічного устаткування термічної дільниці 36
2.3 Порівняльний аналіз сучасних технологій утилізації та енергетичного використання виробничих відходів 42
2.4 Будова та принципи функціонування деаераційно-сепараційного обладнання 45
2.5 Обґрунтування та розрахунок енергозберігаючого ефекту від залучення виробничих відходів у якості вторинного палива 47
3 Техніко-економічне обґрунтування та оцінка ефективності енергозбережних заходів 52

3.1 Оцінка економічної ефективності утилізації теплоти димових газів термічного устаткування 52

3.2 Розрахунок економічного ефекту від залучення відходів виробництва у якості вторинного паливного ресурсу 54

3.3 Економічна ефективність оптимізації режиму роботи вентиляторних установок 58

3.4 Економічна доцільність впровадження запропонованих заходів 58

Висновки 60

Перелік посилань 61

ВСТУП

Галузь промислового машинобудування посідає ключове місце у системі національної економіки. Від динаміки та технологічного рівня даного сектору безпосередньо залежить функціонування суміжних виробничих сфер, показники продуктивності суспільної праці та загальний добробут громадян.

Сучасна структура машинобудівного комплексу охоплює різноманітні спеціалізовані напрями, серед яких вагова роль належить електротехнічному сегменту. На нинішньому етапі електротехнічне виробництво України знаходиться під впливом декількох критичних чинників. Дорожнеча паливно-енергетичних ресурсів у поєднанні з низькою енергоефективністю систем їх розподілу та споживання створює високе фінансове навантаження на підприємства. Це призводить до зростання собівартості продукції, зниження її конкурентоспроможності на зовнішніх і внутрішніх ринках, змушуючи суб'єктів господарювання скорочувати обсяги випуску, обмежувати фонд заробітної плати чи вдаватися до оптимізації персоналу. Означена тенденція справляє деструктивний вплив на макроекономічний стан держави.

Оскільки підприємства не мають важелів впливу на зовнішнє ціноутворення у сфері енергоносіїв, єдиним раціональним шляхом подолання даної кризи є внутрішня трансформація виробничо-технічної бази. Вона передбачає комплексне проведення енергозберігаючих заходів: технічне переоснащення морально та фізично застарілих агрегатів, оптимізацію режимів завантаження технологічного устаткування, утилізацію скидного тепла та впровадження децентралізованих схем теплозабезпечення.

Одним із головних енергоємних напрямків у виготовленні високовольтного електротехнічного обладнання (зокрема трансформаторів різного призначення) є технологічне паро- та теплозабезпечення. Суттєва частка котельних установок була введена в експлуатацію в другій половині минулого століття. Через зміну обсягів виробництва потужні котли часто

працюють у режимах суттєвого недовантаження, що супроводжується падінням їхнього коефіцієнта корисної дії (ККД) та перевитратою палива.

Вирішенням окресленої проблеми є часткова децентралізація джерел теплопостачання, виведення з експлуатації надлишкового вентиляційного обладнання, а також глибока утилізація вторинних енергоресурсів (ВЕР), зокрема фізичного тепла димових газів від нагрівальних і термічних печей

1 АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ТА ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1 Оцінка стану та виробничої структури об'єкта дослідження

Промисловий комплекс ПрАТ «ЗТР» посідає провідні позиції у галузі важкого електротехнічного машинобудування. Підприємство спеціалізується на розробці, виготовленні та випробуванні силового трансформаторного та реакторного обладнання високого класу напруги.

Технологічний потенціал заводу розрахований на випуск широкої номенклатури обладнання:

- трифазних генераторних підвищувальних трансформаторних установок потужністю від 80 до 1500 МВА та однофазних одиниць потужністю до 800 МВА для робочих напруг до 1150 кВ;
- дво- та трьохобмотувальних автотрансформаторних груп трифазного виконанння потужністю 80–600 МВА і однофазних виробок до 750 МВА;
- підстанційних двох- та трьохобмотувальних трансформаторів потужністю 10–600 МВА;
- спеціальних перетворювальних і пічних трансформаторних агрегатів;
- масляних та сухих розподільчих трансформаторів різного виконання;
- керованих підмагнічуванням шунтувальних реакторів трифазної потужності до 250 МВАР на напругу до 750 кВ, які забезпечують ефективну компенсацію реактивної потужності у високовольтних мережах;
- систем автономної діагностики та комплексного моніторингу стану силового обладнання.

Виробнича база заводу об'єднує 15 основних і допоміжних корпусів, до складу яких входять цехи та дільниці зі спеціалізованим обладнанням. Структуру та геометричні параметри виробничих площ підприємства з урахуванням внесених коректив у вихідні дані представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Виробнича структура та площі підрозділів ПрАТ «ЗТР»

№ з/п	Повне найменування підрозділу (корпусу / цеху)	Загальна площа, тис. м²
1	Складальний корпус №1: Трансформаторний цех №1, Цех термовакуумної обробки	47,568
2	Складальний корпус №2: Трансформаторний цех №2, Цех високовольтних випробувань	44,677
3	Зварювальний корпус	57,658
4	Корпус магнітопроводів: Магнітопровідний цех, Механічний цех, Електроремонтний цех, Цех нестандартного обладнання, Цех капітального ремонту	44,066
5	Апаратний корпус №1: Апаратний цех, Гальванічний цех, Інструментальний цех	32,717
6	Ливарний корпус	5,17
7	Ізоляційний корпус	4,876
8	Цех комплектування виробів	4,876
9	Ковальський корпус	1,639
10	Деревообробний корпус	11,936
11	Автотрансформаторний корпус	4,666
12	Котельня №1, Складське господарство	1,654
13	Вуглекислотна станція	0,98

Енергозабезпечення промислового майданчика здійснюється як від зовнішніх мереж, так і за рахунок власних генеруючих джерел:

- електрична енергія постачається від зовнішньої енергосистеми;
- питна та технічна вода – від комунальних мереж водопостачання;

– пара, гаряче водопостачання, стиснене повітря, а також технологічні гази (кисень, аргон, вуглекислота, азот) виробляються власними енергетичними об'єктами.

До складу енергетичного господарства входять:

– Котельня №1: оснащена 4 паровими котлоагрегатами типу ТС-20 загальною продуктивністю по парі 125 т/год (стан задовільний);

– Котельня №3: має у своєму складі 8 котлів сумарною продуктивністю 25 т/год (стан добрий);

– Компресорна станція: обладнана компресорними агрегатами загальною продуктивністю 350 $м^3$/год;

– Киснева та вуглекислотна станції: забезпечують технологічні потреби цехів у відповідних носіях.

У структурі допоміжного виробництва важливе місце посідає деревообробний цех, основними завданнями якого є виготовлення технологічної тари, дерев'яних елементів ізоляції трансформаторів, а також первинна переробка та підготовка деревних відходів для утилізації.

1.2 Аналіз структури та динаміки енергоспоживання

Для об'єктивної оцінки рівня енергоефективності підприємства проведено аналіз динаміки використання ключових паливно-енергетичних ресурсів (ТЕР) за 5-річний період. Зведені дані щодо генерації та споживання теплової енергії власними джерелами наведені в таблиці 1.2.

Деталізований розподіл споживання теплової енергії між окремими цехами та структурними підрозділами заводу подано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.2 – Динаміка теплопостачання підприємства

Найменування показників	2020	2021	2022	2023	2024
Загальне виробництво теплоенергії власними джерелами, Гкал	163 421	159 813	157 148	153 265	154 733
– пара: кількість, тон	138 196	162 816	171 674	150 579	129 073
– гаряча вода: кількість, Гкал	50 141	43 111	39 776	35 645	31 026
Спожито теплоенергії всього, Гкал	163 421	159 138	157 364	153 386	154 725
у тому числі:					
– виробниче споживання	133 421	144 138	144 864	123 386	105 975
– комунально-побутове споживання	2 938	2 811	4 309	7 640	6 260

Аналіз даних свідчить, що найбільша частка витрат припадає саме на теплову енергію та природний газ. У загальній вартості товарної продукції підприємства паливно-енергетична складова є досить високою.

Для ілюстрації енергоємності виробництва в таблиці 1.5 наведено питомі витрати енергоресурсів на виготовлення одного одиничного трансформатора типу ТДЦ-125МВА (коригована вартість одиниці становить 9 238,70 тис. грн).

Таблиця 1.3 – Баланс споживання теплової енергії підрозділами підприємства, Гкал

Найменування підрозділу	2020	2021	2022	2023	2024
Загальне споживання по підприємству	163 421	159 138	157 364	155 886	154 725
Втрати в магістральних тепломережах	3 288	3 500	3 813	4 125	4 450
Споживання основними підрозділами:					
– Трансформаторний цех №1	15 199	15 953	18 075	38 363	41 175
– Цех магнітопроводів та апаратний цех	15 128	15 545	4 961	3 061	3 275
– Деревообробний цех	10 304	14 339	9 483	10 098	10 188
– Ізоляційний цех	6 065	6 491	7 723	9 750	9 681
– Трансформаторний цех №2	5 975	3 986	4 576	4 260	4 375
– Цех термовакуумної обробки	12 770	13 050	16 786	30 838	32 351
– Ливарний цех	476	1 161	1 265	1 375	1 550
– Автотрансформаторний цех	1 195	1 169	1 306	1 350	1 431
– Електроремонтний цех	546	501	576	713	823
– Теплосиловий цех	743	745	1 109	1 181	1 381
– Вуглекислотна станція	5 303	5 489	5 576	5 988	6 090
– Станція теплового центру	248	229	231	250	320
– Цех високовольтних випробувань	15	15	16	19	19
– Зварювальний цех	10 098	8 521	7 675	7 750	7 844
– Складське господарство	1 496	1 731	1 624	1 584	1 603
– Цех комплектування	164	123	119	155	165

Узагальнені фінансово-енергетичні показники діяльності підприємства за останні досліджувані роки (2020–2022 рр.) представлено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Показники споживання основних енергоресурсів

Найменування показників	Одиниці виміру	2023	2024	2025
Природний газ	тис. м³	23 398	21 563	20 700
	тис. грн	49 720	47 114	45 230
Теплова енергія	Гкал	157 364	155 886	154 725
	тис. грн	2 046	2 027	2 011
Електроенергія	тис. кВт·год	33 380	38 738	41 930
	тис. грн	6 914	8 291	10 755

Таблиця 1.5 – Структура витрат енергоресурсів на виготовлення одного трансформатора

№ з/п	Найменування показника	Кількість витраченої енергії	Тариф на енергоносій, грн	Витрати на один трансформатор, грн	Частка у загальних витратах, %
1	Теплова енергія	322,0 Гкал	400	128 800	63 %
2	Електрична енергія	87 289,3 кВт·год	0,28	24 441	12 %
3	Природний газ	40 491,2 м³	1228	49 723	25 %
Всього	–	–	–	202 964	100 %

Як видно з наведених розрахунків, левова частка фінансових витрат на енергоносії при виробництві одиниці продукції (63%) припадає саме на теплову енергію. Завдяки цьому ключовий потенціал енергозбереження зосереджений у реорганізації системи теплозабезпечення, оптимізації роботи котельного устаткування, утилізації відхідного тепла технологічних печей термічної дільниці та зниженні споживання електроенергії у допоміжних цехах.

1.3 Система теплопостачання підприємства

Головним джерелом паропостачання та централізованого забезпечення тепловою енергією промислового майданчика ПрАТ «ЗТР» є Котельня №1. Вона обладнана чотирма котлоагрегатами марки ТС-20, базові характеристики яких з урахуванням коригування вихідних даних наведено в таблиці 1.6. Основним паливом для котлів слугує природний газ.

Водозабезпечення котельні здійснюється з міського водопроводу КП «Водоканал». Повітря для горіння відбирається ззовні та безпосередньо з котельного приміщення. Виведення димових газів забезпечується індивідуальними димососами, встановленими за кожним котлоагрегатом.

Таблиця 1.6 – Теплотехнічне устаткування котельні №1 (ТСЦ)

№ з/п	Показники	Котел 1	Котел 2	Котел 3	Котел 4
1	Тип, марка котла	ТС-20	ТС-20	ТС-20	ТС-20
2	Рік встановлення / модернізації	1968 / 1995	1969 / 1995	1971 / 1996	1971 / 1996
3	Енергоносій, що виробляється	пара	пара	пара	пара
4	Номінальна продуктивність, т/год	30	30	30	30
5	Робочий тиск, кгс/см²	16	16	16	16
6	Температура відхідних газів, °С	150	150	150	135
7	ККД (нетто), %	90,8	90,5	91,8	90,8

Вироблювана котельнею теплова енергія спрямовується на забезпечення ключових потреб підприємства. Зокрема, вона використовується для покриття навантажень систем опалення та вентиляції, безперебійного функціонування системи гарячого водопостачання (ГВП), а також для забезпечення відповідних технологічних процесів виробництва. Структуру розподілу теплового навантаження наведено на рисунку 1.3.

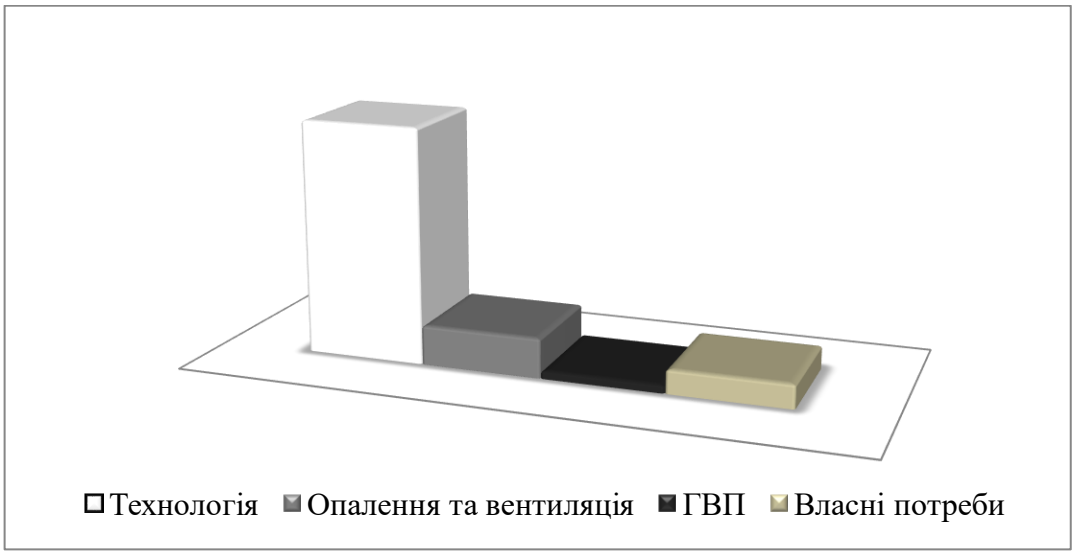


Рисунок 1.3 – Розподіл споживання теплової енергії за максимально-зимового режиму

На території підприємства протяжність зовнішніх теплових магістралей перевищує 3600 метрів. Магістралі виконані переважно з труб діаметром D_y=108 мм повітряної прокладки з ізоляційним шаром зі шлаковати.

На нинішньому етапі у постійному режимі функціонують два котлоагрегати із загальною номінальною продуктивністю 38,5 Гкал/год. Розрахункове максимальне теплове навантаження об'єкта становить 32,8 Гкал/год, що відповідає завантаженню обладнання менше ніж на 85% від встановленої потужності. Неповне завантаження парових котлів призводить до зниження їхнього ККД та додаткових перевитрат природного газу.

Виробляється теплова енергія для трьох основних напрямків:

1. Технологічні потреби виробництва – 25,66 Гкал/год;
2. Опалення та вентиляція – 4,34 Гкал/год;

3. Власні потреби котельні та ГВП – 2,80 Гкал/год.

Завод працює за безперервним графіком (3 зміни, 24 год/добу), річний календарний фонд становить 251 робочий день. Розподіл максимальної потреби у тепловому потоці за підрозділами наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Максимальне теплове споживання підрозділами підприємства

№ з/п	Підрозділи підприємства	Опалення та вентиляція, Гкал/год	ГВП, Гкал/год	Технологія, Гкал/год	Загальна витрата, Гкал/год
1	Складальний корпус №1	0,625	0,081	6,375	7,081
2	Складальний корпус №2	0,5	0,084	6	6,584
3	Зварювальний корпус	0,163	0,065	1,625	1,853
4	Корпус магнітопроводів	0,063	0,061	1,5	1,624
5	Апаратний корпус	0,169	0,063	1,413	1,645
6	Ливарний корпус	0,13	0,038	–	0,168
7	Цех комплектування (ЦКВ)	0,313	0,019	3,625	3,957
8	Ковальський корпус	0,031	0,024	–	0,055
9	Деревообробний корпус	0,406	0,016	3	3,422
10	Автотрансформаторний цех	0,244	0,013	1,125	1,382
11	Складське господарство	0,163	0,013	–	0,176
12	Вуглекислотна станція	–	0,025	1	1,025
13	Інші допоміжні цехи	1,533	0,375	–	1,908
Всього	–	4,34	0,875	25,663	30,878

Найбільшими споживачами тепла є Складальний корпус №1 (близько 23%) та Складальний корпус №2 (близько 21% від загального навантаження).

1.4 Аналіз енергоспоживання термічної дільниці (2023–2026 рр.)

Динаміку використання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання (ГВП) термічною дільницею протягом періоду 2023–2026 рр. наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Споживання теплової енергії на ГВП термічною дільницею

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.	2026 р.
Січень	98,8	140	121,3	123,8
Лютий	95	136,3	100,6	101,5
Березень	96,3	128,8	120	115,9
Квітень	93,1	71,9	55	97,9
Травень	38,8	35	20,9	52,9
Червень	2,3	2,8	4,1	17
Липень	1,3	1,2	5,2	16,8
Серпень	1,1	0,9	20,9	28,4
Вересень	40	25	40	49,5
Жовтень	83,8	90	60	95,4
Листопад	178,8	60	95	112,2
Грудень	148,8	57,5	115	132,8
Всього за рік	877,7	749,3	758	944,1

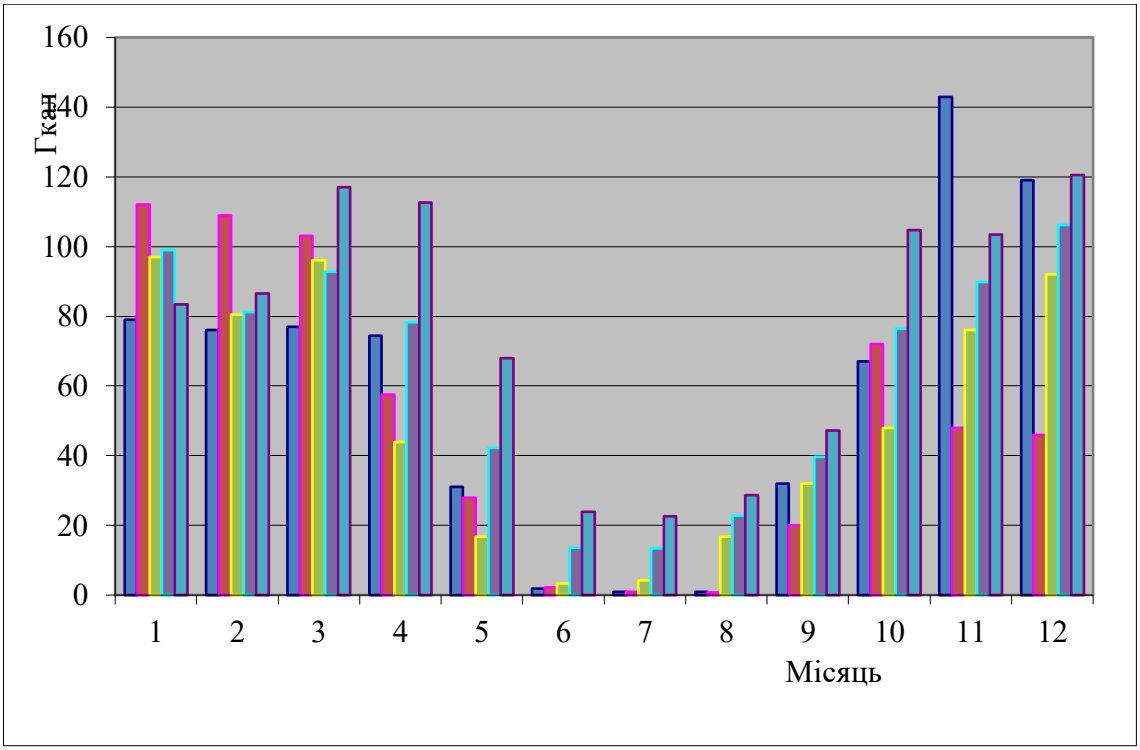


Рисунок 1.3 – Динаміка помісячного споживання теплової енергії на потреби ГВП у термічній дільниці

Динаміку використання теплової енергії на опалення термічної дільниці за 2023–2026 рр. представлено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Споживання теплової енергії на опалення термічною дільницею, Гкал

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.	2026 р.
Січень	135	205	50	206,3
Лютий	176,3	130	83,8	121,3
Березень	115	80	76,3	69,8
Квітень	0	8,8	0	13,7
Жовтень	47,5	27,5	15	27,7
Листопад	143,8	56,3	51,3	69,2
Грудень	137,5	118,8	128,8	115,9
Всього за рік	617,5	763,8	405	623,8

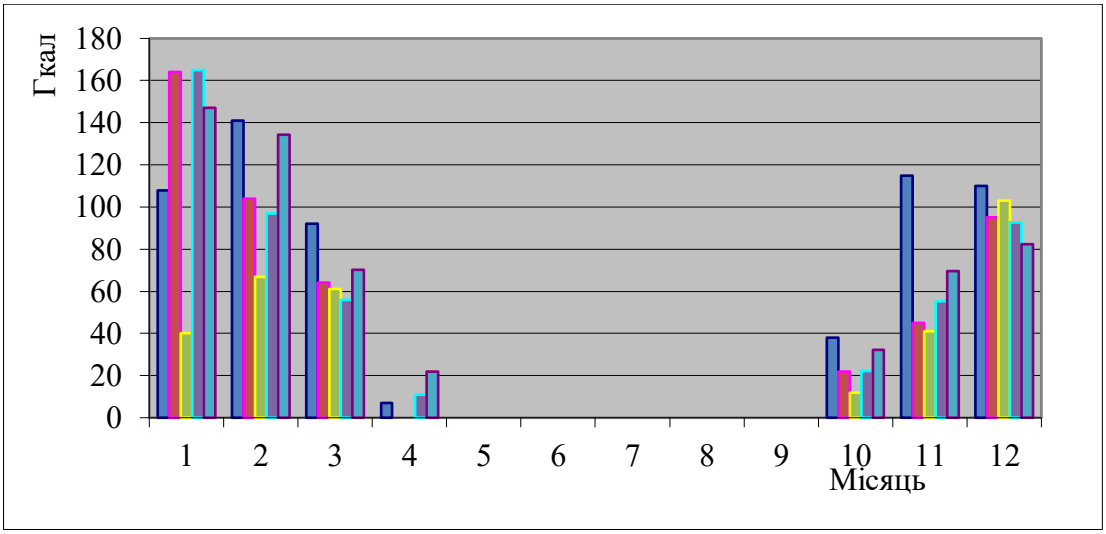


Рисунок 1.4 – Помісячне споживання теплової енергії (опалення) в термічній ділянці

Показники споживання пари на технологічні потреби дільниці подано в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Споживання пари термічною дільницею, Гкал

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Січень	1096,3	952,5	886,3
Лютий	1041,3	981,3	834,4
Березень	1095	1126,3	881,9
Квітень	1126,3	913,8	611,3
Травень	908,8	890	516,3
Червень	660	651,3	460
Липень	755	722,5	437,5
Серпень	687,5	591,3	516,3
Вересень	541,3	572,5	547,5
Жовтень	1219,2	633,8	625
Листопад	991,3	993,8	992,5
Грудень	1332,5	1031,3	1040

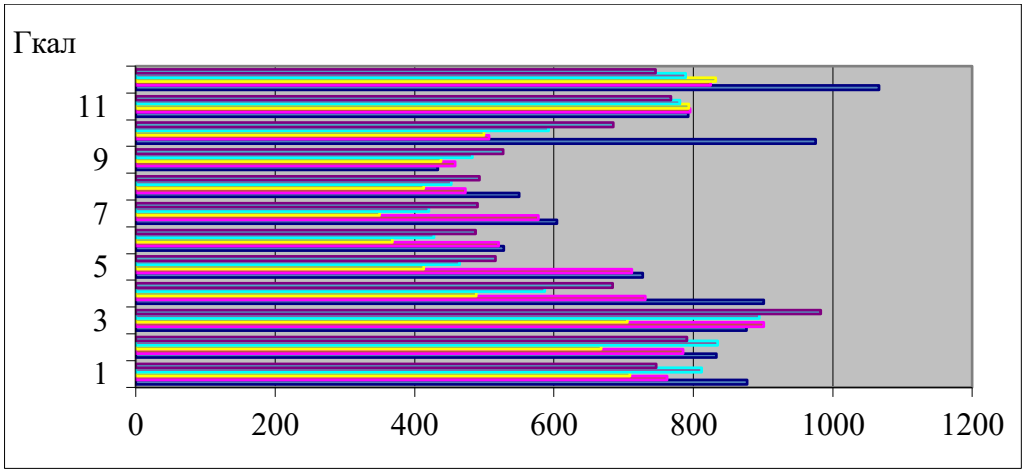


Рисунок 1.5 – Динаміка помісячного споживання теплової енергії з парою в термічній дільниці

Витрати стисненого повітря на технологічні потреби наведено в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Споживання стисненого повітря термічною дільницею

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Січень	562,5	640	812,5
Лютий	625	831,3	726,3
Березень	653,8	753,8	840
Квітень	643,8	773,8	793,8
Травень	630	772,5	743,8
Червень	660	772,3	936,3
Липень	733,8	928,8	977,5
Серпень	725	743,8	833,8
Вересень	658,8	873,8	858,8
Жовтень	771,3	980	1045
Листопад	701,3	1078,5	831,3
Грудень	796,3	991,3	820
Всього за рік	8 161,3	10 288,5	10 069,8

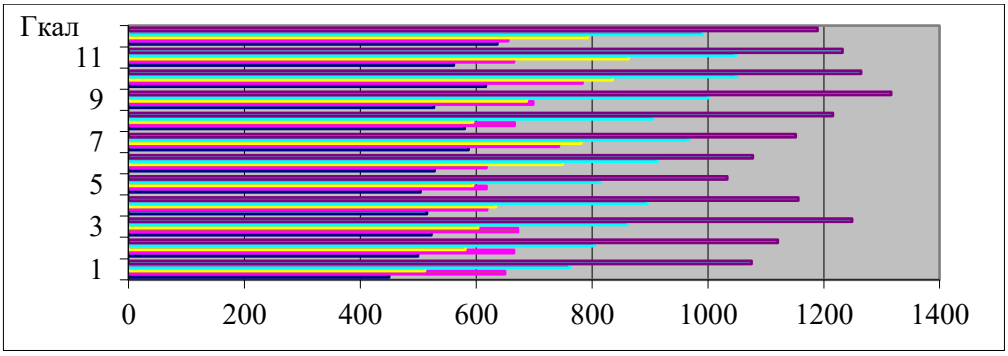


Рисунок 1.6 – Помісячне споживання стисненого повітря (на технологію) в термічній ділянці

Споживання природного газу термічною дільницею відображено в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Споживання природного газу термічною дільницею, тис. м^3

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Січень	79,5	87,13	15,63
Лютий	89,88	49,88	25,5
Березень	98,5	47,75	26,63
Квітень	92,75	58,75	31,25
Травень	102,25	47,13	24,75
Червень	97,38	42,88	33,5
Липень	100,5	56,88	39,63
Серпень	100,88	31,38	33,25
Вересень	98,5	41,13	30,5
Жовтень	102,38	21,38	33,44
Листопад	99,38	31,25	34,83
Грудень	94,13	29,41	30,35
Всього за рік	1 156,00	544,91	359,24

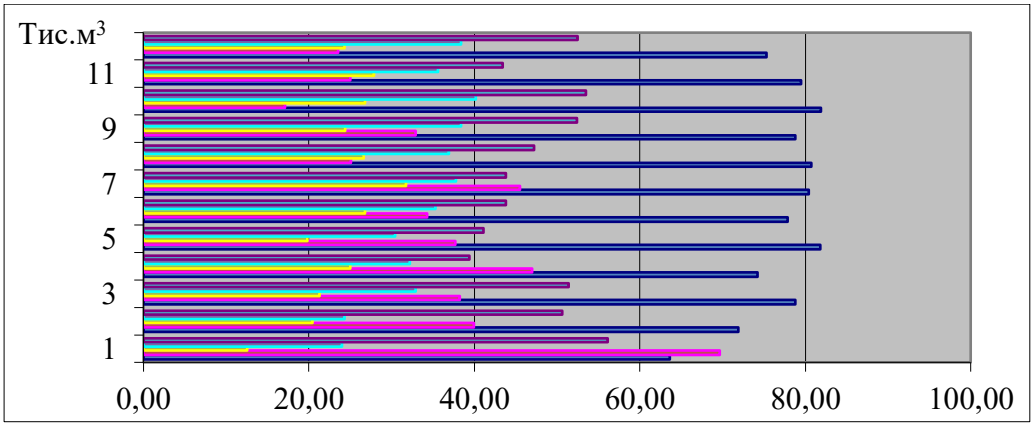


Рисунок 1.7 – Помісячне споживання природного газу в термічній ділянці

Дані щодо споживання питної та технічної води термічною дільницею за досліджуваний період наведено в таблицях 1.13 та 1.14 відповідно.

Таблиця 1.13 – Споживання питної води термічною дільницею, м³

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Січень	3 599,8	4 253,2	1 832,5
Лютий	3 480,9	4 277,5	1 753,7
Березень	4 107,3	3 920,5	2 369,6
Квітень	3 898,1	3 117,2	2 113,7
Травень	3 535,3	2 752,1	1 813,4
Червень	3 118,3	2 291,3	1 551,8
Липень	2 793,9	3 905,8	1 709,0
Серпень	2 974,8	2 191,6	2 410,3
Вересень	4 003,3	2 801,5	2 432,6
Жовтень	4 822,3	2 913,3	2 336,1
Листопад	5 014,5	1 536,4	2 710,3
Грудень	5 979,1	1 082,6	2 620,9
Всього за рік	47 327,6	35 043,2	25 653,8

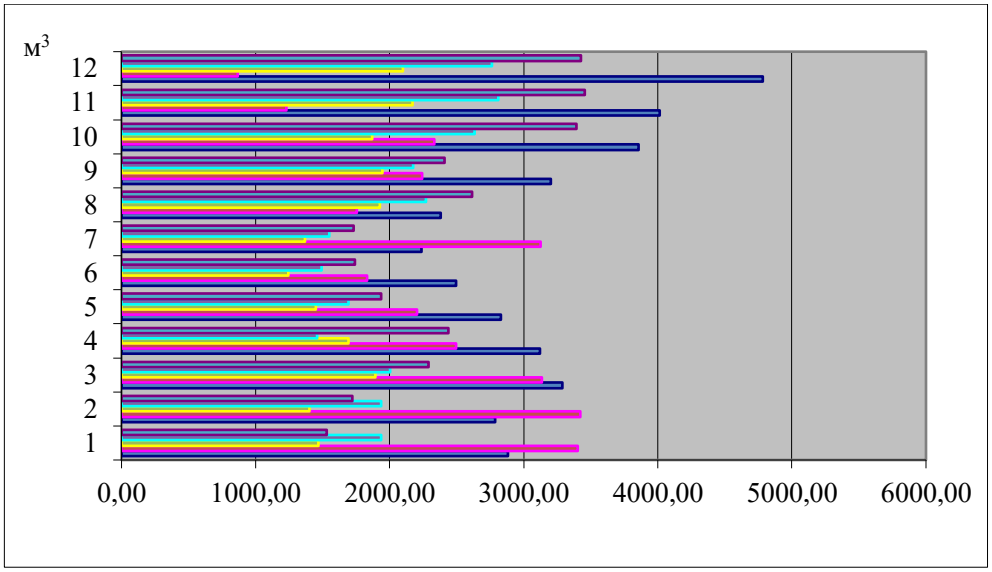


Рисунок 1.8 – Помісячний розподіл споживання питної води в термічній дільниці

Таблиця 1.14 – Споживання технічної води термічною дільницею, м³

Місяць / Рік	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Січень	15 521,3	21 243,8	10 406,3
Лютий	13 843,8	11 221,3	9 278,8
Березень	14 647,5	12 500,0	9 400,0
Квітень	14 037,5	14 065,0	7 875,0
Травень	16 181,3	13 900,0	8 875,0
Червень	17 282,5	12 980,0	11 125,0
Липень	18 890,0	16 746,3	11 955,0
Серпень	17 862,5	17 622,5	8 778,8
Вересень	14 305,0	15 660,0	8 275,0
Жовтень	18 078,8	16 105,0	7 625,0
Листопад	15 153,8	10 875,0	6 250,0
Грудень	18 650,0	10 562,5	10 366,3
Всього за рік	194 453,8	173 481,3	110 210,0

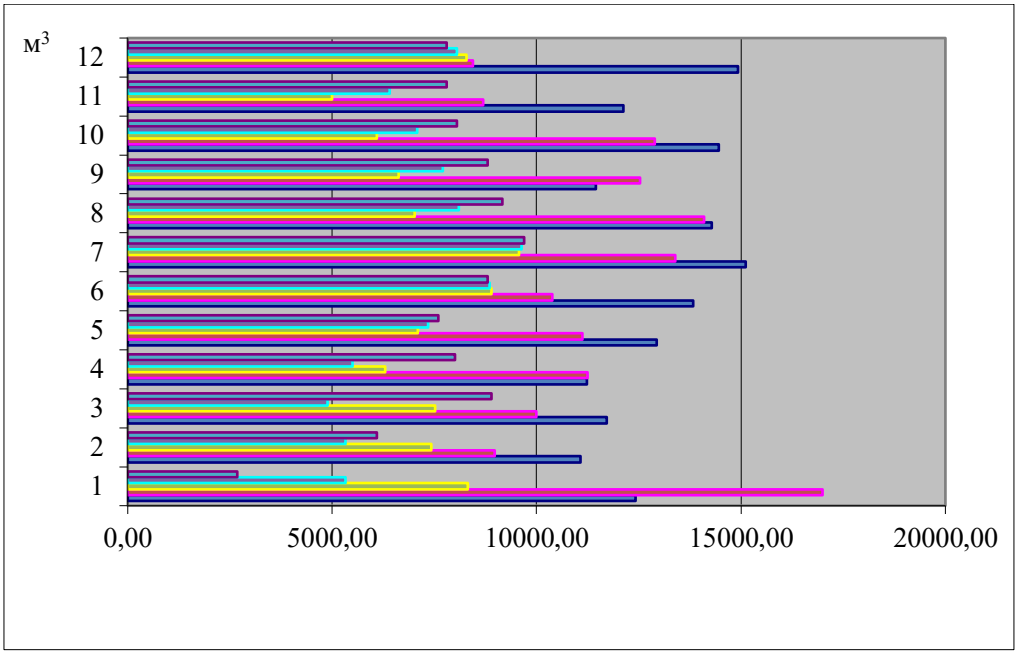


Рисунок 1.9 – Динаміка помісячного споживання технічної води термічною дільницею

Узагальнене річне споживання усіх видів енергетичних ресурсів термічною дільницею підприємства за період 2023–2026 рр. представлено в зведеній таблиці 1.15.

Таблиця 1.15 – Річне споживання енергетичних ресурсів термічної ділянки підприємства

№ з/п	Вид енергоресурсу	Одиниці виміру	2023 р.	2024 р.	2025 р.	2026 р.
1	Електроенергія	кВт·год	7 254 995	7 230 163	7 268 980	11 370 986
2	Теплоенергія (власна)	Гкал	21 256,9	21 496,6	24 759,4	29 349,3
3	Природний газ	тис. м³	1 156,0	544,9	359,2	508
4	Технічна вода	м³	194 454	173 481	110 210	105 235
5	Питна вода	м³	47 328	35 043	25 654	30 900

Обсяг витрат на енергоресурси ливарним цехом за 2022 рік представлені на рисунку 1.10.

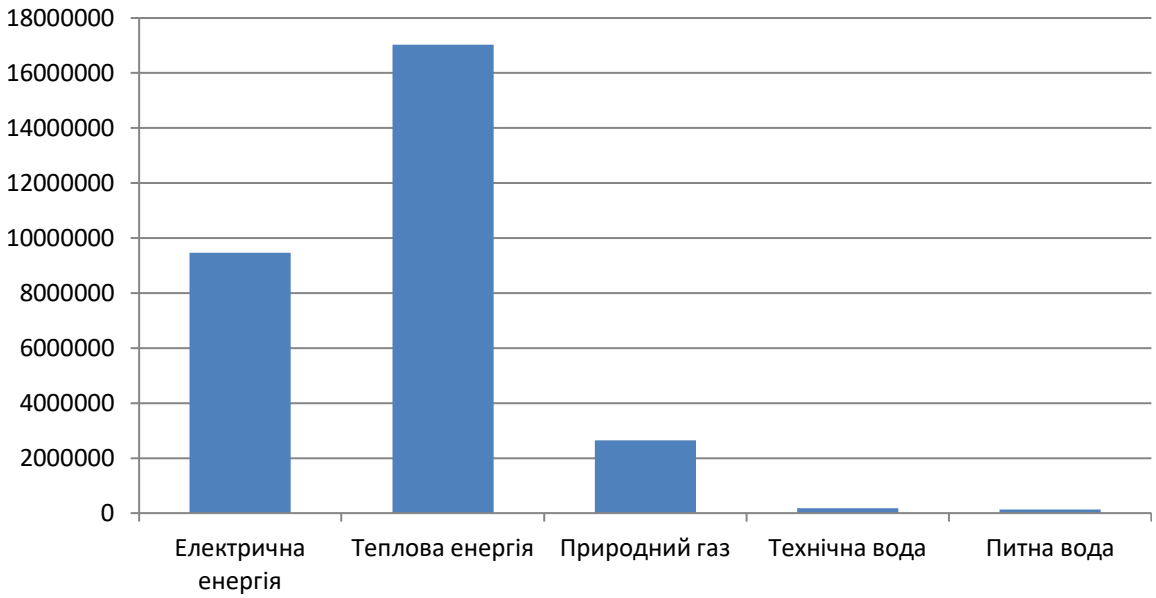


Рисунок 1.10 – Співвідношення витрат на енергоресурси ливарним цехом

Аналіз даних свідчить, що найбільша частка енергетичних витрат термічної дільниці припадає на теплову енергію (близько 57,8%) та електроенергію (близько 32,1%). Це підтверджує необхідність децентралізації її теплозабезпечення та утилізації відхідного тепла печей.

1.5 Пропонований комплекс енергозберігаючих заходів

Згідно з проведеним деталізованим аналізом енергетичних балансів підприємства, оптимізація структури енергоспоживання та зменшення паливно-енергетичної складової у собівартості готової продукції належить до першочергових завдань. У структурі собівартості ливарного та термічного виробництва енергетичні витрати сягають 25-50%, що безпосередньо визначає рівень конкурентоспроможності кінцевих виробів.

Головним споживачем палива та водночас основними джерелами вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) є плавильні, нагрівальні та термічні печі. Більшість діючих агрегатів мають порівняно низький коефіцієнт корисної дії:

- паливні плавильні печі – ККД на рівні 35-45%;
- термічні печі – ККД 25-30%;
- нагрівальні печі, що працюють на газоподібному паливі – ККД 7-12%.

Невикористана в технологічному процесі енергія викидається в атмосферу у вигляді високотемпературних димових газів, що зумовлює суттєві втрати тепла та забруднює довкілля. Відтак, утилізація ВЕР є ключовим напрямом як для підвищення енергоефективності, так і для вирішення екологічних завдань.

Існує декілька основних методів утилізації ВЕР відхідних газів:

Рекуперація тепла: повернення частини енергії у пічний агрегат для підігріву повітря чи газу, що спалюється. Це дозволяє зберегти автономність печі, знизити питому витрату палива та підвищити технологічну ефективність установки.

Отримання гарячої води: застосування водопідігрівачів (економайзерів) дає змогу охолодити відхідні гази до 150-200˚С та досягти ефективності утилізації до 70-75% . Отримана гаряча вода використовується для технологічних або комунально-побутових потреб.

Генерація пари: використання котлів-утилізаторів для виробництва технологічної пари або опалення.

Крім того, суттєве значення має зменшення негативного екологічного впливу (викидів пилу, CO, SO_x, NO_x) за рахунок застосування замкнутих систем водопостачання, регенерації формувальних сумішей та відмови від надлишкових обсягів спалювання природного газу.

На основі аналізу енергогосподарства ПрАТ «ЗТР» до впровадження пропонується наступний комплекс енергозберігаючих заходів:

Захід 1. Децентралізація системи теплопостачання термічної дільниці шляхом ліквідації довготривалих зовнішніх паропроводів і переходу на автономне теплозабезпечення.

Захід 2. Утилізація теплової енергії відхідних димових газів термічного обладнання за допомогою встановлення сучасних котлів-утилізаторів.

Захід 3. Оптимізація роботи вентиляційного господарства: виведення з експлуатації та відключення надлишкових вентиляторних установок у зварювальному цеху та гальванічній дільниці апаратного корпусу.

Захід 4. Впровадження автономного джерела теплоти (газогенераторних установок), що функціонує на власних деревних відходах деревообробного цеху підприємства.

1.6 Аналіз можливості відключення зайвих вентиляторних установок цехів основного виробництва

Завод є великим підприємством із замкнутим циклом виготовлення складного обладнання. Для забезпечення санітарно-гігієнічних вимог, підтримання належного мікроклімату та видалення шкідливих виділень у робочих зонах цехів тривалий час експлуатувалася розгалужена система припливно-витяжної вентиляції.

Однак у зв'язку зі здійсненою реорганізацією виробництва, переходом на використання герметизованого технологічного устаткування та автоматизованих комплексів закритого типу, значна частина вентиляційних потужностей втратила своє початкове призначення та працює вхолосту.

Загалом у цехах підприємства нараховується близько 160 вентиляційних установок. Найбільш енергоємне вентиляційне обладнання зосереджене у зварювальному корпусі та на гальванічній дільниці апаратного цеху. Перелік та кориговані технічні характеристики цього обладнання подано в таблиці 1.16.

Таблиця 1.16 – Перелік та параметри вентиляційних установок основних цехів

№ з/п	Позначення вентилятора	Тип вентиляційного агрегату	Марка електродвигуна	Встановлена потужність двигуна Р, кВт
1	ВУ-1	Ц 13-50-10	АО 2-71-4	28
2	ПУ-5	Ц 4-70 №12,5	4А-200L-6V3	37
3	ВУ-6	ЕВР №5	А-61-8	55
4	ВУ-11	Ц 4-76 №8	АО 2-71-4	37
5	ВУ-12	ЦП 6-45 №8	4А 180 S4	28
6	ВУ-17	Ц 4-70 №12	А-72-6	25
7	ВУ-23	Ц 14-46 №6,3	4А 200 Н6	28
8	ПУ-35	ВРС №10	А-62-8	35
9	ПУ-36	ВРС №10	А-82-8	35
10	ВУ-46	ЦП 7-40 №6	4А 160 Н4	23
11	ВУ-54	В-ЦП 6-45-8	4А 160 Н4	23
12	ПУ-61	Ц 4-70-12	АО 2-62-4	22
13	ПУ-67	Ц 14-70 №12	АО 2-72-4	37
14	ВУ-71	Ц 4-70 №10	АО 2-71-6	22
15	ВУ-73	ЦП 7-57 №8	4А 160 S4	18,5
16	ПУ-76	Ц 4-70-12	АО 2-71-4	37
17	ВУ-78	Ц 14-46-6,3	А 2-71-6	22
18	ВУ-93	Ц 14-46 №6,3	АО 2-71-6	22
19	ВУ-100	ЦП 7-40 №6	4А 160 S4	18,5
20	ВУ-101	Ц 4-70 №10	4А 200 М6	28
21	ВУ-104	Ц 4-76 №8	4А 180 S4	28

Виведення з експлуатації та вимкнення непідключених до активних технологічних процесів електроустановок дасть змогу миттєво зменшити споживання електричної енергії без залучення капіталовкладень. Для вентиляторів, що залишаються у роботі для забезпечення технологічного мінімуму, доцільно розглянути доцільність встановлення частотно-регульованих приводів (ЧРП).

1.7 Аналіз можливості децентралізації системи теплопостачання термічної дільниці

Специфічною рисою термічної дільниці є її значна просторова віддаленість від центрального джерела теплопостачання підприємства (Котельні №1). Це спричиняє суттєві втрати теплової енергії під час транспортування теплоносія тривалими повітряними магістралями та зумовлює значні витрати на утримання мереж. Раціональним виходом із цієї ситуації є проведення децентралізації теплозабезпечення даного об'єкта.

Перехід на автономне децентралізоване теплозабезпечення дає змогу отримати наступний комплексний ефект:

- повну ліквідацію втрат тепла в зовнішніх протяжних теплопроводах;
- скорочення грошових витрат на закупівлю природного газу для центральної котельні за рахунок оптимізації режиму її роботи;
- можливість локального та гнучкого регулювання температурного режиму залежно від графіка роботи термічного обладнання.

На відміну від централізованих систем, де теплота генерується в окремо розташованій котельні та транспортується через труби й повітроводи, децентралізоване опалення виробляє теплову енергію безпосередньо в місці її споживання.

У сфері децентралізованого газового опалення великих промислових об'ємів найбільш поширені дві базові технології:

1. Конвективна: використання газових повітронагрівачів (водяних або газових калориферів), що містять пальник, теплообмінник та вентилятор для примусової циркуляції повітря.

2. Променева (промениста): застосування газових інфрачервоних випромінювачів («світлих» або «темних»), які здійснюють безпосереднє нагрівання поверхонь і обладнання в робочій зоні.

Основними перевагами децентралізованого опалення для великих виробничих приміщень є:

– Економічність монтажу та експлуатації: відсутня потреба в прокладанні та ізоляції зовнішніх мереж; апарати монтуються на стінових консолях або підвішуються до стелі.

– Висока надійність і безпека: повністю виключається ризик замерзання або засмічення трубопроводів; обладнання оснащене автоматичними системами захисту.

– Гнучкість та комфорт: забезпечення зонального опалення окремих робочих місць або дільниць; швидкий вихід на робочий температурний режим.

– Екологічність та енергоефективність: високий ККД сучасних децентралізованих газових апаратів і низькі питомі викиди шкідливих речовин (CO, NO_2).

Незважаючи на те, що вартість окремих децентралізованих агрегатів може бути дещо вищою за елементи традиційних систем, усунення витоків пара, зменшення витрат води та скорочення необхідної потужності центральної котельні забезпечують високий економічний і енергозберігаючий ефект.

Реалізація децентралізації теплопостачання термічної дільниці дасть змогу майже вдвічі скоротити питому потребу в природному газі на її опалення та суттєво зменшити собівартість технологічного тепла.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ НА ПІДПРИЄМСТВІ

2.1. Визначення та розрахунок теплових навантажень об'єкта

Згідно з висновками, зробленими у першому розділі щодо доцільності підвищення енергоефективності, виконаємо детальний розрахунок теплових навантажень об'єкта.

Розрахунок годинної витрати теплової енергії на опалення допоміжних та адміністративно-побутових приміщень здійснюється за укрупненими показниками. Кліматологічні дані для м. Запоріжжя прийняті наступними:

- розрахункова максимально-зимова температура зовнішнього повітря для проектування опалення: $t_{мз.оп}$=-22˚С;
- середньозимова температура зовнішнього повітря за опалювальний період: $t_{сз}$=-0,4˚С;
- тривалість опалювального сезону: Т=174 діб (4176 год).

Максимально-годинна витрата тепла на опалення будівлі $Q_{оп}$, ккал/год, визначається за формулою:

$$Q_{оп}=q_o \cdot a \cdot V \cdot (t_{вн}-t_н)$$

де:

q_o – питома теплова характеристика будівлі, ккал/(м³·год·°С);

а – поправочний коефіцієнт, що враховує зміну питомої теплової характеристики залежно від розрахункової температури;

V – зовнішній опалювальний об'єм будівлі, м³;

$t_{вн}$ – середня розрахункова температура всередині приміщення, °С;

$t_н$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення, °С.

Розрахунок для допоміжної будівлі

Вихідні дані (змінено на +20%):

- опалювальний об'єм: V_1=5336 м^3;
- розрахункова внутрішня температура: $t_{вн1}$=+18˚С;
- питома характеристика: $q_о$=0,45 ккал/(м^3·год·˚С);
- коефіцієнт: а=1,134.

За формулою (2.1):

$Q_{оп1}$=0,45·1,134·5336·(18-(-22))=108919 ккал/год=0,1089 Гкал/год≈0,1267 МВт

Розрахунок для основного виробничого цеху

Вихідні дані (змінено на +20%):

- площа цеху: F=5098 м^2;
- опалювальний об'єм цеху: V_2=77815 м^3;
- середня температура всередині цеху: $t_{вн2}$=+16˚С;
- коефіцієнт інфільтрації повітря через аераційні ліхтарі: k=1,1.

З урахуванням коефіцієнта інфільтрації формула (2.1) набуває вигляду:

$$Q_{оп2}=q_о \cdot k \cdot a \cdot V_2 \cdot (t_{вн2}-t_н)$$

За формулою (2.2):

$$Q_{оп2}=0,5 \cdot 1,1 \cdot 1,134 \cdot 77815 \cdot (16-(-22))=1844186 \text{ ккал/год}$$

Розрахунок теплового навантаження на гаряче водопостачання (ГВП)

Максимально-годинна витрата тепла на потреби ГВП $Q_{гвп}$, ккал/год, обчислюється за формулою:

$$Q_{гвп}=B_{душ} \cdot C \cdot (t_{г.в.}-t_{х.в.}) \cdot n$$

де:

$B_{душ}$ – витрата гарячої води на одну душову сітку, $B_{душ}$=270 л/год;

С – питома теплоємність води, С=1 ккал/(кг·˚С);

$t_{г.в.}$ – температура гарячої води, $t_{г.в.}$=60˚С;

$t_{х.в.}$ – температура холодної води, $t_{х.в.}$=5˚С;

n – кількість душових сіток, приймаємо з урахуванням зміни n=22 шт.

За формулою (2.3):

$Q_{гвп}$=270·1·(60-5)·22=326700 ккал/год=0,3267 Гкал/год≈0,3799 МВт

Г. Сумарне максимально-годинне навантаження

Сумарне максимальне теплове навантаження об'єкта $\Sigma Q_{макс}$, МВт, становить:

$$\Sigma Q_{макс}=Q_{оп1}+Q_{оп2}+Q_{гвп}$$

За формулою (2.4):

$$\Sigma Q_{макс}=0,1267+2,1448+0,3799=2,6514 \text{ МВт}$$

Враховуючи, що середня температура опалювального сезону для м. Запоріжжя становить -0,4˚С, середнє теплове навантаження системи опалення протягом сезону становитиме 0,92 МВт, а при розрахунковій температурі -10˚С – 1,46 МВт.

Для підвищення ефективності обігріву високого цеху (H=15,2-17,4 м) пропонується демонтаж застарілих регістрів з гладких труб і перехід на систему опалення від автономної котельні на деревній тріщі з подачею теплоносія через підвісні тепловентилятори. Це забезпечить направлену подачу теплого повітря безпосередньо в робочу зону (радіус дії до 25 м), зменшить теплові втрати у верхній зоні та суттєво знизить необхідну потужність котельного обладнання.

2.2 Утилізація теплової енергії відхідних газів термічного устаткування термічної дільниці

На термічній дільниці ПрАТ «ЗТР» експлуатуються камерні нагрівальні та термічні печі, що працюють на природному газі. У структурі втрат цих агрегатів переважну частку становить фізичне тепло димових газів (65%), втрати через футерування (25%) та хімічний недопал (10%).

Для глибокої утилізації тепла димових газів передбачається встановлення котлів-утилізаторів (КУ) без власної топки, які генерують безпаливну пару.

У цеху встановлено три термічні прохідні печі типу Т-240. Цілодобово працює щонайменше одна піч, а дві інші залучаються періодично. Перераховані технічні характеристики печі Т-240 з урахуванням коригування вихідних даних подано в таблиці 2.1.

Основними параметрами роботи термічних і нагрівальних печей є:

- продуктивність – $G_{печ}$, кг/год;
- питома витрата тепла – В, ккал/кг;
- питома витрата палива – $B_т$, ккал/кг;
- ККД та коефіцієнт використання палива (КВП) печі.

Слід підкреслити, що нагрівальні печі Т-240 характеризуються змінним по зонах температурним режимом і необхідністю досягнення чіткого розподілу температур по зонах робочого простору з витримкою строго визначеної за технологічною інструкцією температури в кожній зоні. Кількість теплоти, яка подається в різні зони печі, відрізняється на 10-15˚С.

Експлуатаційні теплові та температурні режими функціонування нагрівальних печей зафіксовані в заводських технологічних інструкціях до нагріву виробів. У задачу налагоджувальних робіт входило забезпечення точного відтворення заданої зміни температур нагріву по зонах при найбільшій економічності (тобто найменшій витраті палива) і при дотриманні умов, що

характеризують якісне нагрівання (при найменшій температурній нерівномірності нагріву, без поверхневих дефектів: тріщин, оплавлення).

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики нагрівальної печі типу Т-240

№ з/п	Найменування параметра	Позначення	Одиниця виміру	Величина параметра
1	Максимальна продуктивність печі	Gп	т/год	0,13
2	Кількість пальників у роботі	n	шт	10
3	Витрата природного газу	Вг	м³/год	26,4
4	Повна теплова потужність печі	Qпеч	ккал/год	209 660
5	Корисна теплова потужність	Qкор.пот	ккал/год	19 720
6	Температура вихідних димових газів	tвих	°С	710
7	Об'єм вихідних газів	V	м³/год	600
8	Втрати тепла з відхідними газами	q2	%	54,79
9	Втрати тепла в навколишнє середовище	q5	%	34,18
10	ККД печі	ηтерм	%	9
11	Коефіцієнт використання палива (КВП)	ηквп	%	48
12	Втрати тепла з відхідними газами від 1 печі	Qгаз	ккал/год	131 400

Основна продукція цеху – випуск спеціальних деталей, пов'язаних з виготовленням відповідальних елементів електротехнічного та енергетичного обладнання. Тому якісний нагрів під кування та термообробку відбувається з підвищеними вимогами до температурного режиму роботи печей, і як наслідок, призводить до деякого зниження ККД печей.

Нагрівальні печі типу Т-240, що працюють на природному газі, призначені для нагріву заготовок до температур, встановлених по зонах відповідно до технологічної інструкції. Печі побудовані за індивідуальним проектом. Температура в печах задається та реєструється за допомогою автоматичних приладів. Задана температура підтримується автоматично шляхом зміни витрати газу за допомогою виконавчих механізмів. Контроль нагріву по зонах здійснюється за допомогою оптичного пірометра. На печах встановлено по 16 інжекційних пальників ВП-42. Димові гази видаляються через димоходи у верхній частині склепіння.

Схему точок замірів теплотехнічного контролю газової печі представлено на рисунку 2.1.

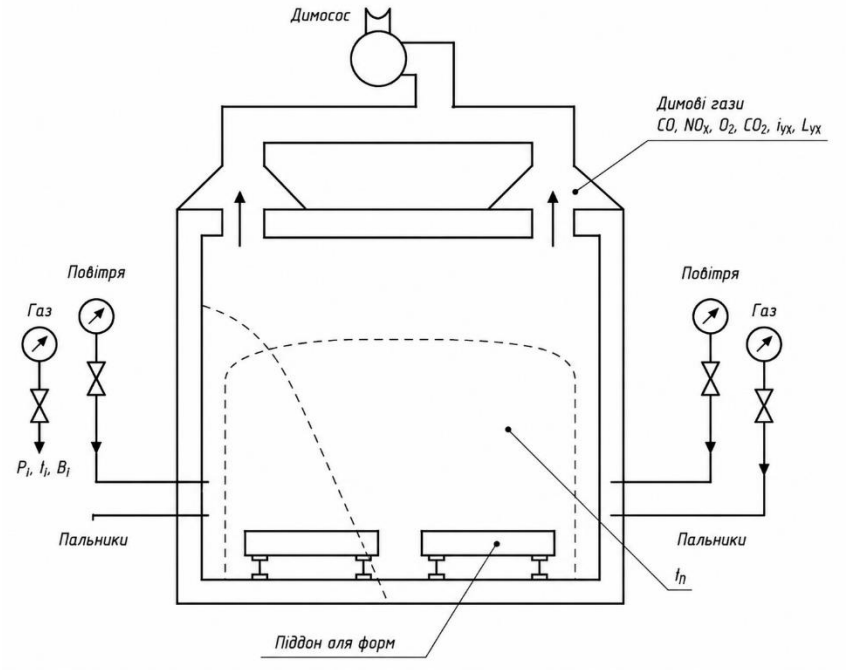


Рисунок 2.1 – Схема точок замірів теплотехнічного контролю газової термічної печі

Існуючі термічні печі потребують підвищення показників використання палива. Одним з основних напрямів енергозбереження в нагрівальних печах є глибока утилізація теплоти димових газів на виході з робочого простору печей. Для утилізації фізичного тепла димових газів, що виходять після технологічних печей, застосовуються котли-утилізатори (КУ). Це дозволяє отримати додаткову продукцію у вигляді насиченого або перегрітого пара, гарячої води та призводить до економії палива на підприємстві.

Котли-утилізатори призначені для отримання безпаливної пари за рахунок використання тепла відхідних газів технологічних агрегатів. Котел-утилізатор – це котел, у конструкції якого немає власної топки, принцип його дії заснований на використанні тепла, що утворюється в основних виробничих процесах.

Використання парових котлів-утилізаторів має ряд переваг:

- зменшення вихлопу забруднюючих речовин в атмосферу;
- зниження витрат на очищення газів;
- більш раціональне використання палива.

Принципова схема котла-утилізатора представлена на рисунку 2.2.

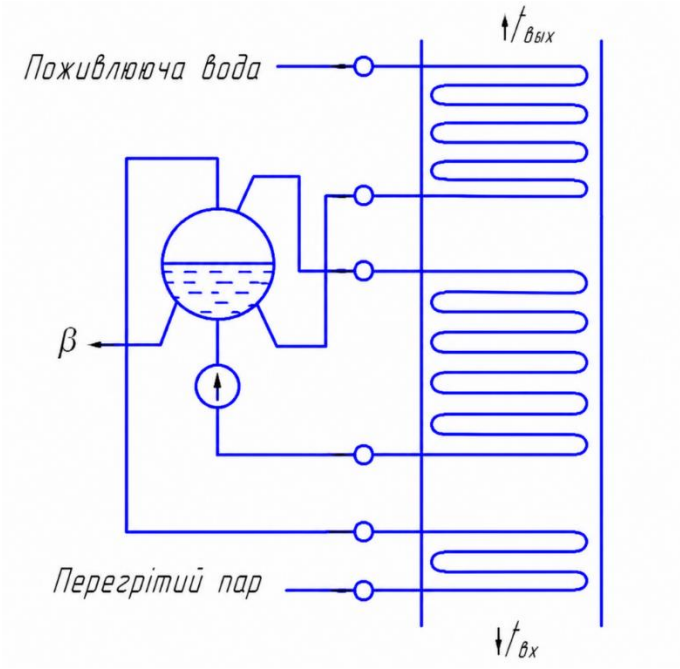


Рисунок 2.2 – Принципова схема котла-утилізатора

За результатами розрахунку котла-утилізатора отримуємо дані щодо ймовірного корисного використання теплоти відхідних газів.

Сумарне вироблення пари трьома печами становить D=0,35-0,60 т/год. Для даного проекту згідно з розрахунками пропонується котел-утилізатор типу УПГ-0,04-0,6 з паропродуктивністю 0,04 т/год та температурою гріючих газів 700˚С.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика котла-утилізатора УПГ-0,04-0,6

Найменування і розмірність показника	Значення
Паропродуктивність, т/год	0,04
Робочий тиск пари, МПа (кгс/см²)	0,4 (4)
Температура пари, °С	151
Температура живильної води, °С	105
Витрата гріючих газів, кг/год	125
Температура гріючих газів на вході, °С	700
Температура газу на виході з КУ, °С	142
Габаритні розміри, мм, не більше:	
– Довжина	1320
– Ширина	1800

Для котла-утилізатора продуктивністю 0,04 т/год потрібна теплова потужність $Q_{ку}$, ккал/год, обчислюється за формулою:

$$Q_{ку}=D\cdot i_{п}\cdot 10^{6}$$

де $i_{п}$ – ентальпія пари ($i_{п}$=0,625 Гкал/т).

За формулою (2.5):

$$Q_{ку}=0,04\cdot 0,625\cdot 10^{6}=25000 \text{ ккал/год}$$

Об'єм природного газу $V_{газ}$, м³/год, необхідний для генерації відповідної потужності в заміщуваному котлі, розраховується як:

$$V_{газ}=\frac{Q_{ку}}{\eta_к \cdot Q^р_н}$$

де:

$Q^р_н$ – нижча теплота згоряння природного газу ($Q^р_н$=8200 ккал/м^3);

$\eta_к$ – ККД котельного агрегату ($\eta_к$=0,91).

За формулою (2.6):

$$V_{газ}=\frac{25000}{0,91\cdot 8200}=3,35 \text{ м}^3/\text{год}$$

Тривалість роботи термічних печей на тиждень становить 5 днів по 12 годин на добу. Отже, тривалість роботи однієї печі за рік $T_{рік}$, год/рік, дорівнює:

$$T_{рік}=52\cdot 5\cdot 12=3120 \text{ год/рік}$$

Сумарний заміщений об'єм природного газу за рік $V_{рік}$, м³/рік, становить:

$$V_{рік}=3,35\cdot 3120=10452 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Економія умовного палива $B_{уп}$, т у.п./рік, обчислюється за формулою:

$$B_{уп}=V_{рік}\cdot K_{пер}$$

де $K_{пер}$ – коефіцієнт переведення натурального палива в умовне ($K_{пер}=\frac{3,48}{1000}$ т у.п./м^3).

За формулою (2.8):

$$B_{уп}=10452\cdot\frac{3,48}{1000}=36,37 \text{ т у.п./рік}$$

2.3 Порівняльний аналіз сучасних технологій утилізації та енергетичного використання виробничих відходів

На підприємстві в процесі функціонування деревообробного цеху утворюються значні обсяги відходів (тирса, стружка, обапіл, деревна кора). Замість утилізації за застарілими схемами ці ресурси можуть бути використані як висококалорійне біопаливо для автономної котельні.

Деревні відходи після відповідного подрібнення й сушіння набувають високої щільності (до 1,2 кг/дм^3) та питомої теплоти згоряння до 19,5 МДж/кг, що є співмірним із показниками кам'яного вугілля.

Основними перевагами комплексного використання обладнання для переробки та спалювання деревних відходів є:

- Повна автономність: модульні системи працюють за власним енергетичним балансом і потребують лише регулярної подачі сировини;
- Високий енергетичний ККД: 1 кг сухої біомаси дає змогу згенерувати близько 1 кВт електричної або відповідну кількість теплової енергії;
- Мінімальні шкідливі викиди: відсутність оксидів сірки та мінімальний залишок золи;
- Невибагливість до складу сировини: можливість залучення як сухої стружки, так і вологої кори або тирси.

Суха речовина деревної маси містить в середньому: вуглець – 50%, кисень – 40%, водень – 6%. Залежно від породи деревини теплота згоряння абсолютно сухої маси коливається у межах від 19420 до 22300 кДж/кг. Вміст вологи у свіжозрубаній деревині та корі може сягати 50-60%.

Для спалювання 1 кг біомаси з нижчою теплотворною здатністю 8970 кДж/кг теоретично потрібно 2,594 м^3 (близько 1,3 кг) повітря за нормальних умов (15,6˚С і тиску 0,1 МПа).

Також потенційним ресурсом біопалива на території підприємства є опале листя. Листя висушують, подрібнюють, пресують та формують брикети з додаванням скріплюючих речовин. Щорічне збирання й переробка листя додатково зменшує виділення метану в атмосферу, яке неминуче відбувається під час його природного гниття.

На рисунку 2.3 узагальнено схеми та технологічні ланцюги спалювання різних видів деревних відходів.

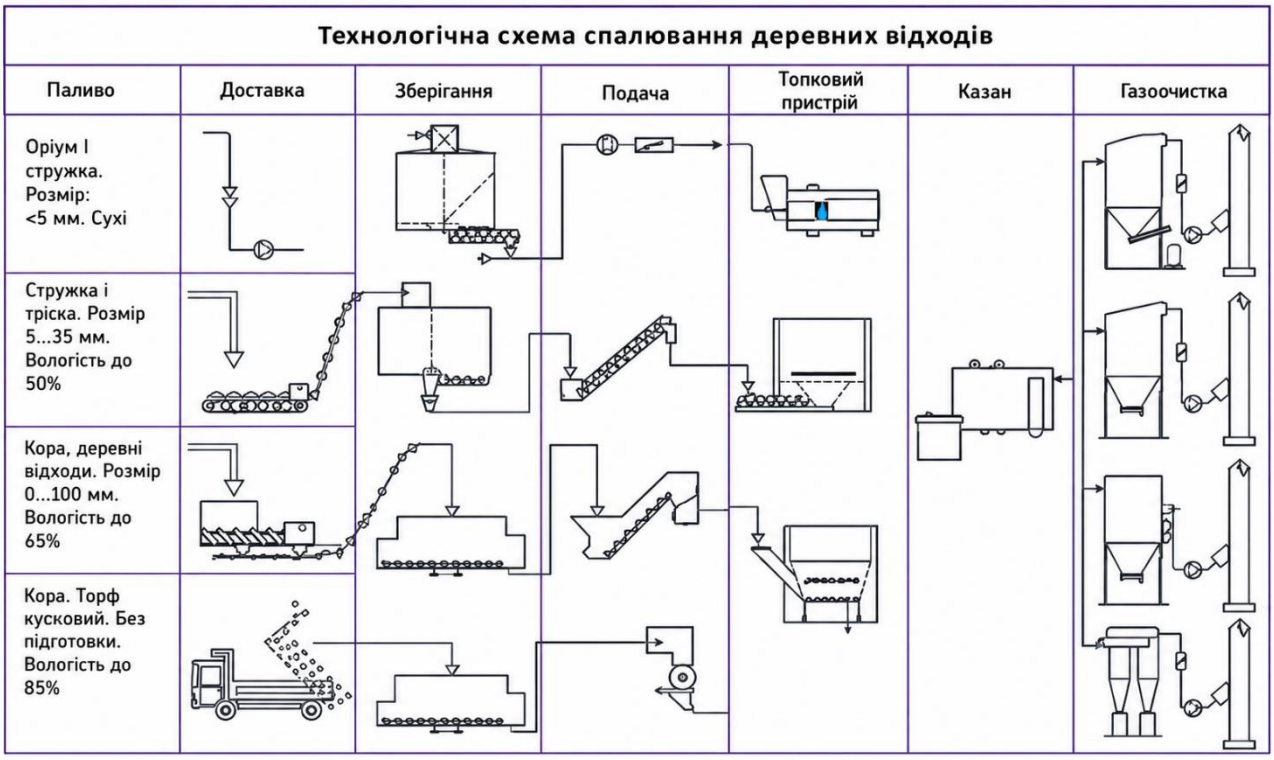


Рисунок 2.3 – Схеми та технологічні ланцюги спалювання різних видів деревних відходів

Перспективним напрямом є використання газогенераторних установок типу УДСО. Їхня робота базується на високотемпературному перетворенні (термохімічній газифікації) твердого палива при обмеженому доступі кисню з утворенням генераторного (деревного) газу.

Усереднений хімічний склад генераторного газу, отриманого при газифікації деревини, наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад генераторного газу

Хімічні компоненти	CO	CO2	CnHm	H2	O2	N2
Об'ємна частка, %	12−14	8−15	1−4	10−17	<5	50−60

Газогенераторні установки типу УДСО випускаються різної потужності. Їхні базові технічні характеристики з урахуванням внесених коректив наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики газогенераторних енергетичних установок УДСО

Характеристики установки	УДСО-80	УДСО-120	УДСО-200	УДСО-350	УДСО-500	УДСО-1000
Теплова потужність, кВт	80	120	200	350	500	1000
Об'єм паливного бункера, м³	1,2	1,2	1,5	1,5	1,8	2
Тривалість роботи на 1 завантаженні, год	5	4	3,5	3	3	2
Довжина, мм	2400	2450	2700	3000	3750	4100
Ширина, мм	1300	1350	1550	1650	1710	1850
Висота, мм	1700	1700	1800	1750	1800	2050
Маса установки, кг	1100	1250	1500	1600	1800	2200

Установка УДСО комплектується сушильною каморою для попереднього підготування сировини. Взаємозв'язок теплової потужності установки та об'єму пиломатеріалу подано в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри сушки деревинної сировини для установок УДСО

Модель установки	УДСО-120	УДСО-350	УДСО-500
Теплова потужність, кВт	120	350	500
Об'єм пиломатеріалу в сушильній каморі, м³	25−30	60−75	100−120

2.4 Будова та принципи функціонування деаераційно-сепараційного обладнання

Енергетичні установки серії УДСО є високоефективним сучасним устаткуванням, призначеним для термічної переробки та спалювання сипучих відходів деревообробки (тирси, стружки, дрібної тріски) з показниками відносної вологості до 30%.

До складу базового комплекту енергетичної установки входять такі конструктивні елементи:

- паливний бункер для приймання та первинного накопичення сировини;
- шнековий транспортер дозованої подачі біопалива;
- реактор-газогенератор для здійснення термохімічного перетворення;
- автоматизована система управління та контролю робочих параметрів;
- циркуляційний насосний вузол для забезпечення руху теплоносія у контурі.

Принципова відмінність енергоустановок УДСО від традиційних котлів шарового спалювання (де паливо подається безпосередньо в топковий простір

водяного котла) полягає в наявності автономного газогенератора з автоматичним регулюванням робочих режимів.

Процес функціонування установки відбувається за наступним алгоритмом:

1. Подача сировини: Подрібнені деревні відходи засипаються в бункер, звідки шнековий транспортер подає їх у реакційну зону газогенератора. Подача здійснюється в автоматичному режимі «подача-пауза» відповідно до налаштувань контролера.

2. Газифікація: У каморі газоутворення сировина нагрівається за рахунок випромінювання розпеченого реактора. Без доступу (або при суворо обмеженій кількості) кисню відбувається термічна дисоціація біомаси на сухий вуглецевий залишок, водяну пару, смоли та леткі олії.

3. Утворення генераторного газу: У результаті гетерогенних реакцій між вуглецем і киснем повітря утворюється оксид вуглецю (CO) – основна горюча складова газів. Виділені смоли та олії під дією високої температури розкладаються з утворенням водню (H_2) та легких вуглеводнів. Нижча теплота згоряння отриманого генераторного газу становить не менше 1100 ккал/м^3 (4,6 МДж/м^3).

4. Спалювання газів: Факел генераторного газу спрямовується в камеру згоряння теплообмінника (водяного котла), де відбувається його повне допалювання з високою віддачею тепла для нагріву мережної води.

Головні переваги застосування установок УДСО:

– Високий екологічний та термічний ККД (80-85%): Перетворення твердої біомаси у газоподібне паливо забезпечує повне згоряння органіки з мінімальним утворенням золи (близько 1%) та відсутністю шкідливих викидів.

– Висока точність регулювання: Автоматична дозована подача палива та керування вентилятором наддуву дозволяють підтримувати температуру теплоносія з точністю до ±1˚С, що важливо для технологічних процесів та сушильних камер.

– Відсутність потреби у складній периферії: Установка не вимагає монтажу потужних димососів, додаткових іскрогасників та громіздких систем очищення димових газів.

– Повна автоматизація: Процес не потребує постійної присутності обслуговуючого персоналу.

2.5 Обґрунтування та розрахунок енергозберігаючого ефекту від залучення виробничих відходів у якості вторинного палива

Розрахункові теплові навантаження цеху з урахуванням внесених змін становлять:

на опалення: $Q_{оп}$=1,3132 Гкал/год;

на гаряче водопостачання (ГВП): $Q_{гвп}$=0,2379 Гкал/год;

сумарне максимальне навантаження: ΣQ=1,5511 Гкал/год.

Розрахуємо обсяг річного утворення деревних відходів (тирси та стружки) $B_{відх}$, т/рік, за формулою:

$$B_{відх}=\frac{V_{дер}\cdot\rho_{дер}\cdot k_{відх}}{1000}$$

де:

$V_{дер}$ – обсяг перероблюваної деревини на підприємстві за рік, $V_{дер}$=7243 м^3/рік;

$\rho_{дер}$ – густина деревини, $\rho_{дер}$=570 кг/м^3;

$k_{відх}$ – коефіцієнт утворення відходів при переробці, $k_{відх}$=0,46.

За формулою (2.9):

$$B_{відх}=\frac{7243\cdot570\cdot0,46}{1000}=1899 \text{ т/рік}$$

Розрахунок теплового навантаження на опалення за опалювальний сезон

Теплове навантаження на опалення в робочі дні $Q_1^{оп}$, Гкал/сезон, обчислюється за формулою:

$$Q_1^{оп}=Q_{макс}^{оп}\cdot\frac{t_{вн}-t_{ср.зим}}{t_{вн}-t_{макс.зим}}\cdot\tau\cdot n_{роб}\cdot 10^{-6}$$

де:

$Q_{макс}^{оп}$ – розрахункове максимальне навантаження, $Q_{макс}^{оп}$=1313160 ккал/год;

$t_{вн}$ – розрахункова внутрішня температура, $t_{вн}$=+16˚С;

$t_{ср.зим}$ – середньозимова температура повітря, $t_{ср.зим}$=-0,4˚С;

$t_{макс.зим}$ – розрахункова зимова температура, $t_{макс.зим}$=-22˚С;

τ – тривалість роботи на добу, τ=24 год;

$n_{роб}$ – кількість робочих днів у зимовий період, $n_{роб}$=124 дні.

За формулою (2.10):

$$Q_1^{оп}=1313160\cdot\frac{16-(-0,4)}{16-(-22)}\cdot 24\cdot 124\cdot 10^{-6}=1687\text{ Гкал}$$

Теплове навантаження на опалення у вихідні та святкові дні $Q_2^{оп}$, Гкал/сезон, становить:

$$Q_2^{оп}=Q_{макс}^{оп}\cdot\frac{t_{черг}-t_{ср.зим}}{t_{вн}-t_{макс.зим}}\cdot\tau\cdot n_{вих}\cdot 10^{-6}$$

де:

$t_{черг}$ – температура чергового опалення у вихідні дні, $t_{черг}$=+10˚С;

$n_{вих}$ – кількість вихідних днів у зимовий період, $n_{вих}$=50 днів.

За формулою (2.11):

$$Q_2^{оп}=1313160\cdot\frac{10-(-0,4)}{10-(-22)}\cdot 24\cdot 50\cdot 10^{-6}=512 \text{ Гкал}$$

Загальне сумарне теплове навантаження на опалення за сезон $\Sigma Q_{1,2}^{оп}$, Гкал/сезон:

$$\Sigma Q_{1,2}^{оп}=1687+512=2199 \text{ Гкал}$$

Середньогодинне навантаження на опалення $Q_{сер.год}^{оп}$, Гкал/год:

$$Q_{сер.год}^{оп}=\frac{Q_1^{оп}}{n_{роб}\cdot\tau}=\frac{1687}{124\cdot 24}=0,567 \text{ Гкал/год}$$

Б. Розрахунок теплового навантаження на ГВП

Витрати тепла на ГВП у зимовий період $\Sigma Q_{зим}^{гвп}$, Гкал/сезон:

$$\Sigma Q_{зим}^{гвп}=q_{душ}\cdot n_{сіток}\cdot C\cdot(t_{г.в}-t_{х.в})\cdot\tau_{миття}\cdot n_{роб}\cdot 10^{-6}$$

де:

$q_{душ}$ – витрати води на 1 сітку, $q_{душ}$=270 л/год;

$n_{сіток}$ – кількість душових сіток, $n_{сіток}$=41 шт;

$t_{г.в}$,$t_{х.в}$ – температура гарячої та холодної води (60˚С і 5˚С);

$\tau_{миття}$ – час роботи душових на добу, $\tau_{миття}$=6 год.

За формулою (2.14):

$$\Sigma Q_{зим}^{гвп}=270\cdot 41\cdot 1\cdot(60-5)\cdot 6\cdot 124\cdot 10^{-6}=453 \text{ Гкал}$$

Середньогодинне навантаження на ГВП у зимовий період $Q_{сер.год.зим}^{гвп}$, Гкал/год:

$$Q^{гвп}_{сер.год.зим}=\frac{453}{124\cdot 6}=0{,}609 \text{ Гкал/год}$$

Витрати тепла на ГВП у літній період (при $n_{літ}$=137 днів) $\Sigma Q^{гвп}_{літ}$, Гкал/сезон:

$$\Sigma Q^{гвп}_{літ}=270\cdot 41\cdot 1\cdot (60-5)\cdot 6\cdot 137\cdot 10^{-6}=500 \text{ Гкал}$$

Сумарна річна потреба в теплі на опалення та ГВП $\Sigma Q^{оп+гвп}$, Гкал/рік:

$$\Sigma Q^{оп+гвп}=\Sigma Q^{оп}_{1,2}+\Sigma Q^{гвп}_{зим}+\Sigma Q^{гвп}_{літ}=2199+453+500=3152 \text{ Гкал/рік}$$

В. Розрахунок потреби в паливі та економії природного газу

Необхідна річна кількість деревного палива $B_{рік}$, т/рік:

$$B_{рік}=\frac{\Sigma Q^{оп+гвп}\cdot 10^6}{Q^р_н\cdot \eta_к}$$

де:

$Q^р_н$ – нижча теплота згоряння деревних відходів, $Q^р_н$=2000 ккал/кг;

$\eta_к$ – ККД газогенераторного котла, $\eta_к$=0,90.

За формулою (2.18):

$$B_{рік}=\frac{3152\cdot 10^6}{2000\cdot 0{,}90\cdot 1000}=1751 \text{ т/рік}$$

Резерв невикористаного деревного палива $B_{рез}$, т/рік:

$$B_{рез}=B_{відх}-B_{рік}=1899-1751=148 \text{ т/рік}$$

Еквівалентна економія природного газу $V_{газ}^{екон}$, м³/рік, визначається шляхом перерахунку заміщеної теплової енергії:

$$V_{газ}^{екон}=\frac{\Sigma Q^{оп+гвп}\cdot 10^6}{Q_{газ}^{р}\cdot \eta_{газ}}$$

де $Q_{газ}^{р}$=8200 ккал/м^3, $\eta_{газ}$=0,91.

За формулою (2.20):

$$V_{газ}^{екон}=\frac{3152\cdot 10^6}{8200\cdot 0,91}=422407 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Вибір основного обладнання

Для покриття максимального годинного навантаження $\Sigma Q_{макс}$=0,567+0,15=0,717 Гкал/год≈0,83 МВт приймаються два газогенераторні котлоагрегати потужністю 0,8 МВт кожен (один робочий, один резервно-піковий). При максимальній потужності витрата тирси становить 410-470 кг/год

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖНИХ ЗАХОДІВ

3.1. Оцінка економічної ефективності утилізації теплоти димових газів термічного устаткування

Для котла-утилізатора розрахункової продуктивності (D=0,04 т/год) необхідна теплова потужність становить 25000 ккал/год . Вартість об'єму природного газу $V_{рік}$=10452 $м^3$, що заміщується протягом року завдяки роботі КУ, обчислюється за діючими тарифами:

$$Вартість\ газу=V_{рік}\cdot Тариф=10452\cdot 4,8=50169,6\ грн$$

Капітальні витрати на реалізацію заходу $K_{ку}$, грн, охоплюють вартість обладнання, транспортні витрати, а також витрати на монтаж і пусконалагоджувальні роботи:

$$K_{ку}=K_{обл}+K_{тр}+K_{м}+K_{пнр}$$

де:

$K_{обл}$ – вартість котла-утилізатора, $K_{обл}$=88000 грн;

$K_{тр}$ – транспортні витрати (5% від вартості обладнання), $K_{тр}$=4400 грн;

$K_{м}$ – вартість монтажних робіт (7% від вартості обладнання), $K_{м}$=6160 грн;

$K_{пнр}$ – вартість пусконалагоджувальних робіт (3% від вартості обладнання), $K_{пнр}$=2640 грн.

За формулою (3.2) капіталовкладення на одну установку КУ становлять:

$$K_{ку1}=88000+4400+6160+2640=101200\ грн$$

Загальні капітальні витрати на комплекс із трьох котлів-утилізаторів УПГ-0,04-0,6 складають:

$$К_{заг}=3\cdot 101200=303600 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект $Е_{річ}$, грн/рік, від експлуатації трьох котлів-утилізаторів за вирахуванням річних витрат на обслуговування та ремонт (5% від капіталовкладень) обчислюється за формулою:

$$Е_{річ}=3\cdot \text{Вартість газу}-0,05\cdot К_{заг}$$

За формулою (3.4):

$$Е_{річ}=3\cdot 50169,6-0,05\cdot 303600=150508,8-15180=135328,8 \text{ грн/рік}$$

Коефіцієнт ефективності капіталовкладень $Е_р$ розраховується як:

$$Е_р=\frac{Е_{річ}}{К_{заг}}=\frac{135328,8}{303600}=0,45$$

Термін окупності капітальних вкладень $Т_{ок}$, років:

$$Т_{ок}=\frac{К_{заг}}{Е_{річ}}=\frac{303600}{135328,8}=2,24 \text{ року}$$

Основні техніко-економічні показники впровадження системи утилізації тепла наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Техніко-економічні показники впровадження котлів-утилізаторів УПГ-0,04-0,6

№ з/п	Економічні показники	Значення показника
1	Загальні капітальні витрати, грн	303 600
2	Річна економія природного газу, м³/рік	31 356
3	Річний економічний ефект, грн/рік	135 328,8
4	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	0,45
5	Термін окупності, років	2,24

Собівартість виробленої теплової енергії $С_{те}$, грн/Гкал, при роботі КУ протягом 3120 год/рік обчислюється за формулою:

$$С_{те}=\frac{15180}{0,025\cdot 3120}=194,62 \text{ грн/Гкал}$$

3.2 Розрахунок економічного ефекту від залучення відходів виробництва у якості вторинного паливного ресурсу

Економічна ефективність заходу досягається за рахунок заміщення дорогого природного газу власними деревними відходами (тріскою та тирсою), що утворюються у деревообробному цеху.

А. Визначення витрат за базовим варіантом

Повні річні витрати на забезпечення потреб у тепловій енергії за базовим варіантом $З_{п.б}$, грн/рік, визначаються за формулою:

$$З_{п.б}=З_{пал1}+З_{ФОП1}+З_{а1}+З_{р.1}$$

де:

$З_{пал1}$ – річні витрати на паливно-енергетичні ресурси за базовим варіантом, грн;

$З_{ФОП1}$ – витрати на фонд оплати праці обслуговуючого персоналу, грн;

$З_{а1}$ – амортизаційні відрахування існуючого обладнання ($З_{а1}$=3600 грн);

$З_{р.1}$ – витрати на поточний ремонт існуючого обладнання ($З_{р.1}$=1200 грн).

Річні витрати на енергоносії $З_{пал1}$, грн, охоплюють витрати на опалення та ГВП за рахунок спалювання природного газу:

$$З_{пал1}=V_{газ}\cdot Ц_{газ}$$

де:

$Ц_{газ}$ – ціна природного газу, $Ц_{газ}$=4800 грн/тис. $м^3$;

$V_{газ}$ – річна потреба в газі, $V_{газ}$=422,4 тис. $м^3$/рік.

За формулою (3.9):

$$З_{пал1}=422,4\cdot 4800=2027520 \text{ грн}$$

Витрати на фонд оплати праці за базовим варіантом $З_{ФОП1}$, грн (обслуговуючий персонал n_1=3 особи, річний оклад $З_р$=30000 грн/особу):

$$З_{ФОП1}=n_1\cdot З_р=3\cdot 30000=90000 \text{ грн}$$

Повні витрати за базовим варіантом за формулою (3.8):

$$З_{п.б}=2027520+90000+3600+1200=2122320 \text{ грн/рік}$$

Б. Визначення капіталовкладень та витрат за новим варіантом

Структура вартості нового комплексу обладнання наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Кошторисна вартість обладнання нового варіанта

Вид обладнання та робіт	Вартість, грн
Газогенераторне обладнання УДСО-800	850 000
Установка рубильна (рубарка МРГ-40)	115 000
Стрічковий транспортер	105 000
Приймальний бункер-накопичувач	90 000
Комплекс пелетування / гранулювання	135 000
Димова труба з газовідводами	65 000
Загальна вартість обладнання (КВ1)	1 360 000

Капітальні вкладення $КВ_{комп}$, грн, з урахуванням будівельно-монтажних і пусконалагоджувальних робіт ($КВ_2$=240000 грн) становлять: $КВ_{комп}=КВ_1+КВ_2=1360000+240000=1600000$ грн

Витрати на амортизаційні відрахування нового обладнання $З_{а2}$, грн (норма амортизації $Н_а$=0,24):

$$З_{а2}=КВ_1 \cdot Н_а=1360000 \cdot 0,24=326400 \text{ грн}$$

Витрати на поточний ремонт нового обладнання $З_{р.2}$, грн (10% від амортизації):

$$З_{р.2}=0,1 \cdot З_{а2}=0,1 \cdot 326400=32640 \text{ грн}$$

Витрати на ФОП за новим варіантом $З_{ФОП2}$, грн (штат скорочується до n_2=2 осіб):

$$З_{ФОП2}=2 \cdot 30000=60000 \text{ грн}$$

Витрати на паливо за новим варіантом охоплюють лише внутрішньозаводські витрати на заготівлю та транспортування тирси ($С_{пал2}$=48000 грн).

Повні витрати за новим варіантом $З_{п.н}$, грн/рік:

$$З_{п.н}=С_{пал2}+З_{ФОП2}+З_{а2}+З_{р.2}=48000+60000+326400+32640=467040 \text{ грн/рік}$$

Показники економічної ефективності

Річний економічний ефект $Е_р$, грн/рік:

$$Е_р=З_{п.б}-З_{п.н}=2122320-467040=1655280 \text{ грн/рік}$$

Собівартість виробленої теплової енергії $С_{тепло}$, грн/Гкал (при річному виробництві $Q^{рік}$=3152 Гкал/рік):

$$С_{тепло}=\frac{З_{п.н}}{Q^{рік}}=\frac{467040}{3152}=148{,}17 \text{ грн/Гкал}$$

Термін окупності капітальних вкладень $Т_{ок}$, років:

$$Т_{ок}=\frac{КВ_{комп}}{Е_р}=\frac{1600000}{1655280}=0{,}97 \text{ року}$$

Коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень Е:

$$Е=\frac{Е_р}{КВ_{комп}}=\frac{1655280}{1600000}=1{,}03$$

3.3 Економічна ефективність оптимізації режиму роботи вентиляторних установок

У ході аналізу системи вентиляції цехів основного виробництва було встановлено, що перехід на автоматизоване технологічне устаткування закритого типу дозволяє вивести з експлуатації частину припливно-витяжних установок без погіршення умов праці.

Згідно з прийнятими технічними рішеннями до відключення призначено 48 вентиляційних агрегатів у зварювальному корпусі та на гальванічній дільниці апаратного цеху із сумарною встановленою потужністю $P_в$=270 кВт (змінено на +20% відносно базового значення).

Річний економічний ефект від зниження споживання електричної енергії $E_{вен}$, грн/рік, розраховується за формулою:

$$E_{вен}=P_в \cdot T_{роб} \cdot C_{ее}$$

де:

$P_в$ – загальна потужність відключених вентиляційних установок, $P_в$=270 кВт;

$T_{роб}$ – середній річний фонд часу роботи вентиляції, $T_{роб}$=4000 год/рік;

$C_{ее}$ – вартість електричної енергії для промислових споживачів, $C_{ее}$=1,25 грн/(кВт·год).

За формулою (3.20):

$$E_{вен}=270 \cdot 4000 \cdot 1{,}25=1350000 \text{ грн/рік}$$

Оскільки захід реалізується шляхом простого організаційно-технічного виведення установок з експлуатації, капітальні витрати відсутні ($K_{вен}$=0 грн). Це забезпечує миттєвий термін окупності та чистий економічний ефект у розмірі 1,35 млн грн щороку.

3.4 Економічна доцільність впровадження запропонованих заходів

Для оцінки загальної ефективності запропонованого комплексу енергозберігаючих заходів виконано зведення техніко-економічних показників у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Зведені техніко-економічні показники впровадження запропонованих заходів

№ з/п	Економічні показники	Утилізація тепла відхідних газів КУ	Відключення надлишкових вентиляторів	Використання деревних відходів	Сумарний ефект комплексу заходів
1	Капітальні витрати, грн	303 600	0	1 600 000	1 903 600
2	Річний економічний ефект, грн/рік	135 328,8	1 350 000	1 655 280	3 140 608,8
3	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	0,45	–	1,03	1,65
4	Термін окупності, років	2,24	0 (миттєво)	0,97	0,61

Аналіз підсумкових даних свідчить про високу економічну доцільність реалізації розробленого комплексу. Загальний термін окупності сумарних капіталовкладень у розмірі 1,90 млн грн становить всього 0,61 року (близько 7,3 місяця), що значно краще за нормативний термін (до 5 років).

Сумарний річний економічний ефект перевищує 3,14 млн грн , що підтверджує високу ефективність запропонованих енергозберігаючих рішень.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі проведено детальний аналіз функціонування системи енергозабезпечення підприємства ПрАТ «ЗТР», виявлено основні джерела втрат паливно-енергетичних ресурсів та розроблено комплекс технічно обґрунтованих енергозберігаючих заходів:

1. Обґрунтовано доцільність часткової децентралізації теплозабезпечення віддалених виробничих дільниць, що дає змогу повністю ліквідувати втрати тепла в протяжних зовнішніх магістралях та оптимізувати режим роботи центральної котельні.
2. Розроблено проект утилізації фізичного тепла відхідних димових газів термічних печей типу Т-240 за допомогою встановлення трьох котлів-утилізаторів УПГ-0,04-0,6. Розрахункова річна економія природного газу становить 31,35 тис. $м^3$/рік, а річний економічний ефект – 135,3 тис. грн при терміні окупності 2,24 року.
3. Запропоновано схему автономного теплозабезпечення цехів на основі високотемпературного перетворення (газифікації) власних деревних відходів у газогенераторних установках УДСО-800. Це дозволяє замістити 422,4 тис. $м^3$ природного газу на рік, забезпечити собівартість тепла на рівні 148,17 грн/Гкал та отримати річний ефект 1,65 млн грн при терміні окупності 0,97 року.
4. Доведено доцільність виведення з експлуатації 48 непідключених до активних процесів вентиляційних установок загальною потужністю 270 кВт . Це зменшить споживання електроенергії на 1080 тис. кВт·год/рік і дасть річну економію у розмірі 1,35 млн грн без залучення капіталовкладень.
5. Сумарні капітальні витрати на реалізацію всього комплексу заходів становлять 1,90 млн грн , а загальний річний економічний ефект сягає 3,14 млн грн/рік, що забезпечує повну окупність інвестицій за 0,61 року

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: Навчальний посібник. – Харків: ХНАДУ, 2002. – 200 с.

2. Денисюк С. П., Стрілець О. В. Інтегровані системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 264 с.

3. Жидицький В. Ц., Джигерей В. С., Мельников А. В. Основи охорони праці: Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2000. – 351 с.

4. Захаров Д. М., Розен В. П. Оптимізація режиму роботи промислових котелень та систем теплопостачання. – Київ: Техніка, 2015. – 188 с.

5. Ковалко М. П., Денисюк С. П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

6. Кожевніков К. Г., Вакулко А. Г. (ред.). Енергоаудит: Збірник науково-практичних і методичних матеріалів. – Київ: Енергоресурсозбереження, 1999. – 224 с.

7. Луговий О. В., Чорний А. П. Питання практичного енергозбереження промислових підприємств // Проблеми створення нових машин і технологій: Зб. наук. праць КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 1998. – Вип. 1. – С. 5–13.

8. Праховник А. В., Соловей А. І. Енергетичний менеджмент. – Київ: НТУУ «КПІ», 2001. – 472 с.

9. Щекін Р. В. Довідник з теплопостачання та вентиляції. – Київ: Будівельник, 1968. – 289 с.

10. Методичні вказівки до виконання організаційної і економічної частини дипломних проектів для студентів ЗДІА спеціальності «Теплоенергетика» / Укл. Л. С. Сердюк. – Запоріжжя: ЗДІА, 2005. – 28 с.

11. Маляренко В. А. Енергетичні установки та екологія: Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2011. – 286 с.

12. Кузнецов М. П., Стогній Б. С. Моніторинг та оптимізація споживання паливно-енергетичних ресурсів на промислових об'єктах // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2017. – № 2. – С. 14–22.

13. Сухін Є. І. Вторинні енергетичні ресурси та ресурсозбереження в промисловості України. – Харків: Факт, 2008. – 312 с.

14. Клименко В. М. Використання скидного тепла промислових печей та агрегатів. – Київ: Наукова думка, 2014. – 210 с.

15. Качан Ю. Г., Кузнецов В. В. Питання підвищення енергоефективності металургійного та електротехнічного виробництва // Праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – Вип. 41. – С. 88–95.

16. Гелєтуха Г. Г., Желєзна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні // Відновлювана енергетика. – 2019. – № 1 (56). – С. 23–31.

17. Долінський А. А. Підвищення енергоефективності теплоенергетичного устаткування промислових підприємств // Промислова теплотехніка. – 2016. – Т. 38, № 3. – С. 5–12.

18. Назаренко П. В., Бондаренко О. І. Модернізація вентиляційних систем цехів важкого машинобудування // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2018. – Вип. 24. – С. 45–52.

19. Мхитарян Н. М. Енергозберігаючі технології та використання відновлюваних джерел енергії. – Київ: Знання, 2009. – 320 с.

20. Фіалко Н. М., Прокопов В. Г. Енергоефективність використання когенераційних та утилізаційних установок на промислових підприємствах // Новини енергетики. – 2015. – № 8. – С. 27–34.

21. Ратушняк Г. С., Джеджула В. В. Енергетичний аудит та менеджмент промислових підприємств: Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 184 с.

22. Сердюк Р. П., Гавриш В. І. Децентралізація систем теплозабезпечення промислових майданчиків // Енергетика і автоматика. – 2020. – № 3. – С. 112–120.

23. Ткаченко С. Й., Степанов Д. В. Екологічні та енергетичні аспекти спалювання відходів деревини у газогенераторних котлоагрегатах // Наукові праці ВНТУ. – 2017. – № 4. – С. 54–61.

24. Безруких П. П., Волошин В. С. Технології переробки та утилізації біомаси для потреб технологічного теплопостачання. – Дніпро: Пороги, 2013. – 240 с.

25. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 р. № 1818-IX // Відомості Верховної Ради України. – 2022. – № 2. – Ст. 8.