

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології

Кафедра теплотехніки

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

на тему:

Модульна пересувна твердопаливна котельня з силосною  
автоматизованою подачею пелети

Шабанов Нікіта Олександрович

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології

Кафедра теплотехніки

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Модульна пересувна твердопаливна котельня з силосною  
автоматизованою подачею пелети

Виконав: Шабанов Нікіта Олександрович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

студент групи \_\_\_\_\_ ТЕ-21

144 «Теплоенергетика»  
(спеціальність)

Енергетичний менеджмент,  
енергоефективні муніципальні та  
промислові теплові технології  
(освітня програма)

Керівник Погосов О.Г.  
(прізвище та ініціали)

Канд.техн.наук, доцент  
(вчене звання, науковий ступінь)

*Ідентичність підтверджую*

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології  
Випускова кафедра теплотехніки  
Освітній ступінь «бакалавр за ОПП»  
Спеціальність 144 «Теплоенергетика»  
Освітня програма «Енергетичний менеджмент, енергоефективні  
муніципальні та промислові теплові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедри \_\_\_\_\_

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

Шабанова Нікити Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Модульна пересувна твердопаливна котельня з  
силосною автоматизованою подачею пелети  
затверджена наказом ректора КНУБА № \_\_\_\_\_ від “\_” \_\_\_\_\_ 2025 року.
2. Керівник роботи к.т.н., доц. Погосов О.Г.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання студентом роботи до захисту 24.06.2025 р.

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

P.1. Вихідні дані до проектування.

P.2. Схема генерального плану.

P.3. Архітектурно-будівельні рішення модульної пересувної котельні.

P.4. Тепломеханічні рішення котельні.

P.5. Інженерні забудови котельні.

P.6. Внутрішні електричні мережі та автоматизація.

P.7. Оцінка впливів на навколишнє середовище(ОВНС).

P.8. Техніко-економічні обґрунтування.

5. Графічний матеріал за розділами

P.4. Теплова схема котельні

P.5. Плани систем на відмітці.

P.4. Розрізи поперечні.

P.4. Розрізи поздовжні.

P.5. Ізометричний вид котельні ззовні.

Р.5. Ізометричний вид котельні всередині.

6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Вихідні дані до проектування	Березень, 2025
Розділ 2. Схема генерального плану	Березень, 2025
Розділ 3. Архітектурно-будівельні рішення модульної пересувної котельні	Квітень, 2025
Розділ 4. Тепломеханічні рішення котельні	Квітень, 2025
Розділ 5. Інженерні забудови котельні	Квітень, 2025
Розділ 6. Внутрішні електричні мережі та автоматизація	Травень, 2025
Розділ 7. Оцінка впливів на навколишнє середовище(ОВНС)	Травень, 2025
Розділ 8. Техніко-економічні обґрунтування	Червень, 2025
Остаточне оформлення роботи	Червень, 2025
Направлення роботи для перевірки на плагіат	Червень, 2025
Попередній захист роботи на кафедрі	Червень, 2025
Направлення роботи на рецензування	Червень, 2025

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис

8. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Зав.кафедри \_\_\_\_\_ **Кириченко М.А.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник \_\_\_\_\_ **Погосов О.Г.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Здобувач \_\_\_\_\_ **Шабанов Н.О.**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Анотація до дипломної роботи

Вступ

### **1. Вихідні дані до проектування**

### **2. Схема генерального плану**

2.1. Склад експлікації генерального плану

### **3. Архітектурно-будівельні рішення модульної пересувної котельні**

### **4. Тепломеханічні рішення котельні**

4.1. Опис теплової схеми котельні

4.2. Підбір обладнання

### **5. Інженерні забудови котельні**

5.1. Водопровід та каналізація

5.2. Розробка та підбір системи «чілер-фанкойл»

### **6. Внутрішні електричні мережі та автоматизація**

### **7. Оцінка впливів на навколишнє середовище(ОВНС)**

### **8. Техніко-економічні обґрунтування хор**

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

ДОДАТКИ

						Дипломна робота	Аркуш
							4
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

## Анотація до дипломної роботи

Дров'яні каміни як джерело тепла використовуються вже тисячі років, проте сучасні технології значно вдосконалили процес їх роботи. Розвиток систем автоматичного та контрольованого спалювання спрямований на підвищення ефективності тепловіддачі та зниження рівня забруднення повітря. За умови сталого використання дров та впровадження високоефективних систем з низьким рівнем викидів, деревина є екологічно чистим і відновлюваним джерелом енергії. Завдяки потенційній CO<sub>2</sub>-нейтральності, дрібномасштабне спалювання біомаси, зокрема деревини, може зробити значний внесок у зниження викидів парникових газів. Особливу роль у цьому відіграє використання ущільненої біомаси — пелет та брикетів, які набувають популярності в житловому та державному секторах. Сучасні системи опалення на біомасі, включаючи ті, що використовують пелетовані деревні відходи, сільськогосподарське зерно або деревну тріску, забезпечують високу ефективність і автоматизацію.

Метою дослідження є дослідження та оцінка можливостей використання стандартного допоміжного обладнання для парку котлів BFB компанії Sumitomo SHI FW Oy та максимально модульна конструкція допоміжних частин для досягнення універсального застосування пристрою завдяки конкретній лінійці продуктів BFB.

Проектування котла з точки зору стандартизації, щоб одне й те саме допоміжне обладнання, таке як насоси, вентилятори, клапани тощо, могло бути оснащено різними конструкціями котлів у межах асортименту котлів, підвищило б ефективність виробництва. Особливо завдяки стандартизації та використанню модульної структури, обсяг проектних та документаційних робіт буде скорочено. Оскільки проектні роботи відіграють велику роль у виробничих витратах, навіть незначні зміни в конструкції можуть призвести до більших та дорогих рішень.

В ідеальному випадку продуктивність та фізичні розміри пристрою будуть придатними для різних цілей та різних стандартних котельних виробів. Однак конструкція котла повинна враховувати багато різних змінних, таких як доступне паливо, необхідна продуктивність, стан місця, електричні вимоги, граничні значення викидів тощо, що встановить різні потреби для пристроїв та зробить принцип універсального застосування складнішим.

Це дослідження зосереджено на визначенні можливого допоміжного обладнання, яке було б корисним для стандартизації, та пошуку можливостей модульної конструкції котла для використання стандартних деталей. Дослідження враховує можливі обмеження, встановлені для необхідного

						Дипломна робота	Аркуш
							5
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

допоміжного обладнання котлів BFB зі стандартного парку котлів BFB компанії Sumitomo SHI FW Oy.

Метою роботи є дослідження та оцінка можливостей котла BFB для використання модульної структури та стандартизованого допоміжного обладнання зі стандартного сімейства котлів BFB компанії Sumitomo SHI FW Oy.

Використання стандартизованої структури, щоб ті самі компоненти допоміжного обладнання, такі як насоси, вентилятори, клапани тощо, могли використовуватися в різних вузлах котлів BFB, дозволить заощадити кошти в таких сферах, як проектування та документація обладнання. Оскільки проектні роботи мають великий вплив на виробничі витрати, навіть невелика зміна в конструкції часто може призвести до значних змін на завершальному етапі виробничого процесу, і тому стандартизація приносить переваги та економію на етапах проектування та впровадження електростанції. Наприклад, документація, що стосується конкретного випадку та обладнання, що виникає внаслідок змін та відмінностей, спричиняє значні витрати порівняно з випадком, коли та сама документація на обладнання також може бути використана як частина іншого вузла/проекту обладнання.

В ідеалі, продуктивність та фізичні розміри допоміжного обладнання повинні бути сумісними з різними концепціями та умовами котлів, що спрощує вибір допоміжного обладнання, яке буде використовуватися. Однак, проектування котла повинно враховувати низку різних змінних, таких як доступне паливо, бажана паропроductивність, вплив розташування електростанції, електропостачання, встановлені ліміти викидів тощо, які висувають різні вимоги до обладнання залежно від конкретного випадку та, отже, знижують загальну придатність допоміжного обладнання.

## Вступ

Велика і складна сфера енергетичного попиту в XXI столітті та її вплив на довкілля охоплює питання від глобального до особистого рівня — від міжнародних кліматичних угод до повсякденного енергоспоживання в побуті. Глобальний виклик — досягнення цілей, сформульованих у Кіотській (1997) та Паризькій (2015) кліматичних угодах — вимагає від урядів різних країн реальних, технологічно та економічно обґрунтованих кроків щодо скорочення викидів парникових газів, зокрема в енергетичному секторі.

Європейський Союз, зокрема, встановив на 2030 рік ціль зі скорочення викидів на 40% (ЕС, 2014), що вимагає координації політик та дій усередині 27 країн-членів. У межах цієї рамки особлива увага приділяється зменшенню споживання енергії в житловому секторі, який є одним з найбільших споживачів

						Дипломна робота	Аркуш
							6
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



співвіднести ці результати з розрахунковими моделями;

- Через аналіз практичних кейсів виявити причини та ознаки небажаної динамічної поведінки;
- Проаналізувати існуючі регуляторні інструменти і розробити рекомендації щодо їх покращення для стимулювання ефективніших рішень в сфері опалення.

Таким чином, розробка модульної пересувної твердопаливної котельні з силосною автоматизованою подачею пелети потужністю 4100 кВт дозволяє поєднати інноваційні технологічні рішення з реальними потребами сучасного українського суспільства в умовах перебудови системи енергозабезпечення.

В ході роботи буде виконано:

- аналіз енергетичного контексту та нормативної бази України й ЄС;
- технічне обґрунтування компонування модулів;
- вибір обладнання для спалювання пелет, автоматизації, зберігання та подачі палива;
- моделювання роботи котельні в змінних режимах;
- оцінка екологічного впливу (викиди CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, пил, зольність);
- техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження.

Котельня такого типу може бути застосована для локального опалення шкіл, дитячих садків, лікарень, пунктів незламності, мобільних таборів або відновлення життєво важливої інфраструктури в регіонах, що постраждали від руйнувань. Впровадження таких систем є важливим внеском у енергетичну безпеку, екологічну сталість та технологічне оновлення теплогенеруючих потужностей України.

В основі роботи буде використано низку нормативних документів, включаючи:

- ДБН В.2.5-77:2014 «Котельні установки»;
- ДСТУ EN 303-5:2016;
- Закон України «Про альтернативні джерела енергії»;
- Постанови КМУ щодо енергоефективності в бюджетній сфері.

Таким чином, запропоноване технічне рішення відповідає вимогам сьогодення в енергетичному, екологічному та соціальному вимірах. В умовах повоєнного відновлення України модульні біоенергетичні установки можуть стати основою нової децентралізованої системи теплопостачання, забезпечивши сталість, гнучкість і безпеку теплозабезпечення в найрізноманітніших умовах.

## 1. Вихідні дані до проектування

						Дипломна робота	Аркуш
							8
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

1) Теплова потужність котельної: 4188 кВт. Котельня – з автоматизованою подачею палива - повинна забезпечувати стале теплопостачання при роботі на пелеті заводського виготовлення (сертифікована). Орієнтовні габарити котельні: 26300x6100x3200h. Кількість модулів – 11 одиниць. Марка котлів – KORDINAMIC 3G/S 900. Марка насосів для котельень: DAB (Італія) або аналог (без частотного регулювання). Система збору золи – неавтоматична.

2) Приготування ГВП (гаряче водопостачання) передбачається безпосередньо в котельні швидкісним водонагрівачем потужністю 1000 кВт. Приєднання системи теплопостачання (на потреби опалення) залежне. Встановити в якості гідравлічного розділювача котельного контуру і системи опалення баки-накопичувачі води загальним об'ємом 6 м<sup>3</sup>. Система теплопостачання – чотирьохтрубна.

3) Водозапірна арматура фірм Brendoni, Bianchi або аналог. Регулювальна арматура Meibes або аналог.

4) Газоходи Вентустрій або аналог. Застосувати в проекті димососи та циклони індивідуальні до кожного котла номінальною витратою продуктів згорання 2400 м<sup>3</sup>/год кожний (з коефіцієнтом запасу 1.25 та коефіцієнтом надлишку повітря 1.15). Характеристики пелети відповідають ДСТУ 8358:2015. Висоту димової труби визначити розрахунком розсіювання, але не менше 12 м. Димососи і циклони встановити на окремих фундаментах.

5) Автоматизація для котельних виконується на базі приладів компанії «Раут Автоматік».

6) Силос улаштувати поруч з котельнею обсягом 104 м<sup>3</sup>.

7) Витрата води системи хімічної водопідготовки – 4 м<sup>3</sup>/год, баки запасу підготовленої води – 2x500 літрів. Реагентний блок підібрати відповідно до аналізу води листа вих. №240 від 02.12.2024р. Деаератор – відсутній.

8) Встановити трьохходовий клапан з сервоприводом (на контурі системи опалення), контролер, датчики температур та забезпечити погодозалежне якісне регулювання. Підбір клапану виконати після розрахунку необхідної пропускної здатності клапана при номінальній витраті теплоносія в контурі теплопостачання 180 м<sup>3</sup>/год. Втрата тиску в мережі теплопостачання складає 1.3 Бар.

9) Встановити сепаратор повітря і шламу на зворотній тепловій мережі системи опалення на номінальну витрату теплоносія 180 м<sup>3</sup>/год.

						Дипломна робота	Аркуш
							9
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

10) Передбачити двоканальний тепловий лічильник контуру системи опалення з витратомірами на подавальному трубопроводі та трубопроводі підживлення ТМ, загальний лічильник холодної води, лічильник ХВ на потреби ХВО, лічильник ХВ на підживлення ГВП, лічильник ХВ на власні потреби.

11) В якості системи компенсації надлишкового тиску встановити реле тиску Danfoss KPI 35, 0,2-8 бар та соленоїдного клапану, що скидатиме надлишкову воду в бак запасу очищеної води.

12) Система вентиляції – механічна загальнообмінна, з розрахунку 3-ого повітрообміну та повітря на спалювання деревної пелети.

## 2. Схема генерального плану

Схема генерального плану об'єкта нового будівництва — модульної пересувної твердопаливної котельні потужністю 4100 кВт — розроблений з урахуванням технологічних, санітарно-гігієнічних, протипожежних, екологічних та експлуатаційних вимог. Планування забезпечує раціональне розміщення основних і допоміжних споруд та інженерної інфраструктури на відведеній земельній ділянці, оптимізуючи просторову організацію та логістичні потоки.

Основними складовими генерального плану є проєктована котельня, вежа димової труби, бункер-накопичувач, прямок норії, пожежний щит з ящиком для піску, майданчики для обслуговування та за потреби — адміністративно-побутовий блок. Конструктивні та планувальні рішення спрямовані на забезпечення безперебійної роботи теплогенеруючого обладнання, безпечного зберігання палива, зручності обслуговування та відповідності вимогам нормативної документації.

Проїзди та технологічні під'їзди дозволяють ефективно організувати рух транспорту для доставки пелет і вивезення відходів згоряння, а також забезпечують пожежний доступ. Територія об'єкта огорожена, що гарантує безпеку функціонування обладнання та обмежує доступ сторонніх осіб.

Проєкт розроблено відповідно до будівельних норм та стандартів, передбачаючи раціональне використання земельної ділянки та безпечну експлуатацію всіх елементів об'єкта.

### 2.1. Склад експлікації генерального плану

1. Проєктована котельня (центральный об'єкт проєкту) — модульна котельня, призначена для виробництва теплової енергії шляхом спалювання

						Дипломна робота	Аркуш
							10
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

твердого палива (пелет). Вона включає основне котельне обладнання, системи автоматизованого управління, вентиляції, подачі повітря, димовидалення, теплообмін та інше інженерне забезпечення.

Включає в себе такі особливості:

- Компактне модульне рішення.
- Швидкокомонтована конструкція.
- Забезпечує автономну роботу.

2. Вежа димової труби – служить для відведення димових газів, що утворюються в процесі згоряння пелет. Забезпечує підняття продуктів згоряння на безпечну висоту для їх розсіювання в атмосфері.

Включає в себе такі особливості:

- Забезпечує відповідність екологічним та санітарним нормам.
- Може бути сталевією або металевією з термоізоляцією.
- Розташовується поруч із котельнею та має фундаментну основу.

3. Бункер-накопичувач – ємність для тимчасового зберігання пелет, з якого паливо подається автоматично в топку котла за допомогою механізмів подачі.

Включає в себе такі особливості:

- Забезпечує безперервне постачання палива.
- Може мати внутрішню вентиляцію або захист від вологи.
- Обсяг розраховується залежно від потужності котельні та режиму її роботи.

4. Прямок норії – зниження рівня ґрунту для розміщення основи норії (ковшового елеватора), яка транспортує пелети з бункера до зони подачі в котел.

Включає в себе такі особливості:

- Частина автоматизованої системи подачі палива.
- Має гідроізоляцію та захист від замулення.
- Забезпечує безпечне обслуговування системи подачі.

5. Пожежний щит з ящиком для піску – призначений для первинного пожежогасіння. Включає в себе інструменти (совок, багор, вогнегасник, пісок), що використовуються при виникненні загоряння на об'єкті.

Включає в себе такі особливості:

- Обов'язковий елемент відповідно до ДБН щодо пожежної безпеки.

						Дипломна робота	Аркуш
							11
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- Розташований на відкритій ділянці з вільним доступом.
- Обслуговується персоналом об'єкта.

### 3. Архітектурно-будівельні рішення модульної пересувної котельні

Одним із довгострокових інженерних рішень, спрямованих на зменшення довжини теплопровідних комунікацій, є горизонтальне компонування модульної пересувної твердопаливної котельної установки.

У зв'язку з цим було проведено детальний технічний аналіз і інженерне опрацювання конфігурації котла з горизонтальним розташуванням основних елементів теплогенератора. Таке компонування дозволяє оптимізувати трасування паропроводів, зменшити тепловтрати та підвищити ефективність системи.

Горизонтальна структура твердопаливного парового котла була адаптована під умови мобільної модульної конструкції, що базується на паливі з автоматизованою подачею пелет. Потік продуктів згоряння проходить по поверхнях нагріву в класичній послідовності, характерній для компактних котелень.

Конструктивна схема передбачає наступну послідовність проходження димових газів:

- камера згоряння з пелетним пальником;
- пластинчастий перегрівач;
- первинний пароперегрівач;
- друга та перша ступені пароперегрівача (для покращення параметрів пари);
- економайзер (для попереднього нагріву живильної води);
- регенеративний повітропідігрівач (для підвищення ККД системи за рахунок повторного використання тепла димових газів).

Порівняно з класичною компоновкою, розроблений котельний агрегат має важливу конструктивну відмінність — інше компонування шлаковидалення, а саме бункери для золи, розташовані вздовж всієї довжини топкової камери. Така інженерна особливість суттєво впливає на структуру потоку в топці котла та забезпечує ефективне відведення продуктів згоряння з мінімальним втручанням у гідродинаміку потоку.

У процесі проектного дослідження котельного агрегату було виконано три ключові завдання щодо оптимізації об'єму топки:

						Дипломна робота	Аркуш
							12
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Визначено оптимальне просторове положення пальникових агрегатів з урахуванням структури потоку та кута їх нахилу.

Запропоновано нову конструкцію зольників, яка забезпечує мінімальний перепад тиску по тязі, що особливо важливо для мобільних котлів з обмеженим простором і змінними навантаженнями.

Розроблено унікальну конструкцію повороту газоходу після топкової камери, яка мінімізує зміну профілю швидкості потоку, знижуючи нерівномірність теплового навантаження на поверхні нагріву економайзера.

Усе це дозволяє підвищити надійність, енергоефективність і екологічність модульної пересувної твердопаливної котельні, зберігаючи її мобільність, автономність та адаптивність до різних умов експлуатації.

Багато дослідників використовували як автоматизовані, так і ручні підходи для оцінки сили взаємодії між компонентами.

У багатьох випадках бінарне або зважене представлення взаємодії компонентів використовується в Матриці структури залежностей (DSM) для ідентифікації кластерів. Бінарне представлення може показати лише існування взаємодії між двома компонентами. Однак у багатьох випадках фактичний характер взаємодії та її вплив на загальні цілі модуляризації представлені за допомогою зваженого представлення або підходу зі штрафами за витрати. Зважене представлення взаємодії також використовується, коли модуляризація має кілька цілей.

Для систем вентиляційно-кондиціонерних установок (FCU) блоки вентиляційно-кондиціонерних установок з верхньою подачею повітря зазвичай використовують конфігурацію з нижньою поверненням повітря, що усуває необхідність в окремих отворах для впуску рециркуляційного повітря поблизу меж приміщення. FCU служить теплообмінником, тоді як для подачі зовнішнього повітря в приміщення потрібен окремий впуск свіжого повітря. Свіже повітря обробляється блоком вентиляційно-кондиціонерних установок (FAU) у приміщенні з кондиціонером, а потім подається окремо в приміщення. У невеликих приміщеннях (<math> < 50 \text{ m}^2 </math>) суворе та рівномірне розміщення свіжого повітря не є необхідним. Однак у великих приміщеннях проектувальникам необхідно враховувати, як швидко подавати та змішувати свіже повітря. У цьому дослідженні з економічних міркувань застосовується той самий метод розміщення свіжого повітря у великих приміщеннях, що й рециркуляційного повітря в системах кондиціонування повітря (CAV).

Фаза польової обробки та монтажу: На ранніх етапах збірного будівництва систем МЕР (механічних, електричних та сантехнічних) проекти

						Дипломна робота	Аркуш
							13
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

були відносно простими, в основному включали попереднє виготовлення основного обладнання МЕР, такого як повітроводи та водяні насоси. Ці компоненти зазвичай виготовлялися на місці та миттєво.

Фаза планування попереднього виготовлення: Оскільки будівельна галузь прагне ефективності та якості монтажу, технологія попереднього монтажу зазнала подальшого розвитку. Багато виробників впровадили нові технології для виробництва компонентів та раннього попереднього виготовлення деталей, що призвело до більшої різноманітності в якості та дизайні компонентів МЕР.

Цифрова фаза: З постійним розвитком цифрових технологій, збірні монтажні системи вступили в цифрову епоху. Поява технології ВІМ, зокрема, відкрила нові можливості для монтажу систем технічного обладнання (МЕР), з акцентом на детальному проектуванні МЕР. Завдяки цифровому проекту та виробництву, збірні монтажні системи досягли високого рівня точності та інтеграції.

Фаза великомасштабного попереднього виготовлення та промислового попереднього виготовлення: у міру розвитку індустріалізації в будівництві проекти встановлення попередньо збірних систем опалення та вентиляції (МВЕ) отримують подальший розвиток. Застосування промислових виробничих методів та попередньо збірних ліній дозволяє здійснювати великомасштабне серійне виробництво обладнання МВЕ на заводах, підвищуючи ефективність та стандартизацію попереднього виготовлення компонентів МВЕ та трубопроводних секцій.

Модульне збірне виготовлення та етап попереднього виготовлення: етап модульного монтажу є критичним етапом розробки. Цей етап зосереджений на складанні, підключенні та встановленні раніше виготовленого обладнання, компонентів або модульних блоків МЕР у цільовому місці відповідно до певних стандартів та процедур. Точність та якість монтажу стають надзвичайно важливими під час цього етапу.

Фаза інтелектуального збірного монтажу: Інтелектуальне встановлення робить акцент на використанні цифрових, автоматизованих та інтелектуальних технологій для підвищення ефективності, точності та сталого розвитку будівництва. На цьому етапі передові технології, такі як датчики, аналіз даних, штучний інтелект та машинне навчання, дозволяють здійснювати моніторинг у режимі реального часу, прогнозне обслуговування, дистанційне керування та оптимізоване керування, що робить встановлення збірних систем енергоефективності та енергоефективнішими.

*Планувальне рішення (План на відм. 0.000):*

						Дипломна робота	Аркуш
							14
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- Котельня складається з декількох модулів, що з'єднані між собою.
- Розміри котельні визначаються кількістю та розміром модулів (зазначити загальні розміри котельні).
- У кожному модулі розміщується технологічне обладнання: котли, насоси, баки, щити управління (розташування обладнання показано на кресленні).
- Наявність зони обслуговування та проходів для персоналу.
- В окремому модулі передбачено санвузол (якщо потрібно).

*Конструктивні рішення:*

- Модулі виконані з металевого каркасу та огорожувальних конструкцій з сендвіч-панелей.
- Розміри модулів: (вказати точні розміри модулів, наприклад, ширина, довжина, висота).
- Каркас модулів виконаний зі сталевих профілів, з'єднаних зварюванням або болтовим з'єднанням.
- Огорожувальні конструкції: сендвіч-панелі з утеплювачем (вказати тип та товщину утеплювача).
- Підлога: бетонна стяжка з гідроізоляцією та зносостійким покриттям (вказати матеріали).
- Дах: односхилий або двосхилий (зазначити тип), виконаний з металевих балок, утеплювача та покрівельного матеріалу (вказати матеріали).

*Розріз 1-1 (Розріз модулю):*

- Висота приміщень: (зазначити висоту від підлоги до стелі).
- Розташування вікон та дверей (вказати розміри та тип вікон та дверей).
- Вказати розташування вентиляційних отворів (забезпечення природної вентиляції).
- Екстер'єр:
- Зовнішній вигляд модулів: прямокутні блоки з вікнами та дверима.
- Колірне рішення: (зазначити колір панелей та металевих конструкцій).

*Будівельні рішення*

**Фундаменти:**

- Тип: стовпчасті або пальові фундаменти (залежить від ґрунтових умов).
- Розміри фундаментів: (розрахунок виконується на основі навантаження від котельні).
- Матеріали: бетон, арматура.
- Висота фундаментів: (забезпечення необхідного зазору між

						Дипломна робота	Аркуш
							15
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

котельнею та землею).

Каркас модулів:

- Матеріал: сталеві профілі.
- З'єднання елементів: зварювання, болтове з'єднання.
- Розрахунок на міцність і стійкість: враховується вітрове та снігове навантаження.

Огороджувальні конструкції:

- Матеріал: сендвіч-панелі з утеплювачем.
- Товщина утеплювача: залежить від кліматичної зони.
- Теплоізоляційні характеристики: коефіцієнт теплопередачі.

Підлога:

- Конструкція: бетонна стяжка, гідроізоляція, зносостійке покриття.
- Матеріали: бетон, гідроізоляційні мембрани, керамічна плитка.

Дах:

- Тип: односхилий або двосхилий.
- Конструкція: металеві балки, утеплювач, покрівельний матеріал.
- Матеріали: профнастил, металочерепиця, мембрана.

## 4. Тепломеханічні рішення котельні

### 4.1. Опис теплової схеми котельні

Схема відображає тепломеханічні процеси в котельні, що використовує кілька котлів (найімовірніше, на твердому паливі або газові), систему акумулювання теплової енергії, теплообмінник для гарячого водопостачання та систему керування. Основна мета — виробництво, накопичення та розподіл теплової енергії для потреб опалення та гарячого водопостачання (ГВП).

#### *Котловий контур (чотири котли)*

Котли (К1): Чотири котли є основними джерелами теплової енергії. У кожному котлі відбувається згоряння палива, що нагріває теплоносії (найчастіше воду).

Циркуляційні насоси котлового контуру (К4): Забезпечують безперервну циркуляцію теплоносія через котли, що сприяє ефективному теплообміну та запобігає перегріву котлів.

Трубопровідна обв'язка котлів:

						Дипломна робота	Аркуш
							16
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- Подаючий трубопровід (червоний): транспортує нагрітий теплоносії від котлів до гідравлічного роздільника (ГР) або до системи акумулювання теплової енергії.
- Зворотний трубопровід (синій): повертає охолоджений теплоносії від системи опалення або акумулюючих баків назад до котлів.

Запірна та регулююча арматура: Кожен котел обладнаний запірною арматурою для ізоляції котла при необхідності (наприклад, для технічного обслуговування). Регулююча арматура (триходові клапани, регулюючі клапани) використовується для керування потоком теплоносія та підтримання необхідної температури.

Гідравлічний роздільник (гідравлічна стрілка): Використовується для вирівнювання тиску між котловим контуром і контуром системи опалення, що забезпечує стабільну роботу котлів та ефективний розподіл теплової енергії.

*Контур акумулювання теплової енергії (теплоакumuлюючі баки)*

Акумулюючі баки (теплоакumuлятори): Теплоакumuлюючі баки (зазвичай три) використовуються для накопичення надлишкової теплової енергії, виробленої котлами.

Циркуляційні насоси контуру акумулювання (K24, K25): Забезпечують циркуляцію теплоносія між котлами та баками, що дозволяє ефективно завантажувати баки тепловою енергією.

Триходові клапани (на схемі позначені біля баків): Регулюють потік теплоносія: або в систему опалення, або в акумулюючі баки.

Датчики температури: Використовуються для контролю температури в баках та керування роботою насосів та клапанів.

*Контур системи опалення*

Циркуляційний насос системи опалення (K8): Забезпечує циркуляцію теплоносія в системі опалення об'єкта.

Триходовий регулюючий клапан (K6): Регулює температуру теплоносія, що подається в систему опалення, шляхом підмішування охолодженого теплоносія зі зворотного трубопроводу.

Лічильник теплової енергії (K10): Вимірює кількість теплової енергії, спожитої системою опалення.

Трубопроводи опалення:

						Дипломна робота	Аркуш
							17
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- Подаючий трубопровід: транспортує нагрітий теплоносієм до системи опалення (радіатори, тепла підлога).
- Зворотний трубопровід: повертає охолоджений теплоносієм назад до котельні.

Підживлення системи опалення (B1): Насос (B1) використовується для підживлення системи опалення водою з водопроводу для компенсації втрат теплоносія.

Дренаж: Для випуску води з системи для обслуговування.

### *Контур гарячого водопостачання (ГВП)*

Теплообмінник ГВП (K9): Теплообмінник використовується для нагрівання води для потреб ГВП.

Циркуляційний насос ГВП (K12): Забезпечує циркуляцію гарячої води в системі ГВП, щоб гаряча вода завжди була доступна в точках водорозбору.

Трубопроводи ГВП:

- Трубопровід подачі холодної води.
- Трубопровід подачі гарячої води.
- Циркуляційний трубопровід (для підтримки температури гарячої води у системі).
- Змішувальний клапан (K17): Для регулювання температури ГВП.

Основні компоненти схеми:

#### 1. Котли (позначення K1):

- На схемі зображено кілька котлів (найімовірніше, три), які є основними теплогенераторами в котельні.

- Кожен котел оснащений необхідною арматурою: запірною, регулюючою та запобіжною. Це потрібно для регулювання параметрів теплоносія та забезпечення безпечної експлуатації.

- Позначення поруч з котлами вказують на їхній тип, потужність та інші характеристики (це потребує уточнення з експлікації).

#### 2. Теплообмінники (позначення K9):

- На схемі бачимо теплообмінник для системи ГВП (гарячого водопостачання). Теплообмінник передає тепло від первинного контуру (від котлів) до вторинного (вода для ГВП).

						Дипломна робота	Аркуш
							18
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- Тип теплообмінника: пластинчастий.

### 3. Акумуляюючі баки (теплоаккумулятори):

- На схемі показані вертикальні циліндричні баки, об'єднані в групу.
- Призначення: акумуляування надлишкової теплової енергії, що виробляється котлами, та її подальше використання у періоди пікового навантаження або коли котли не працюють.

### 4. Насоси (позначення К3, К5, К8, К11 та ін.):

- Різні насоси забезпечують циркуляцію теплоносія у різних контурах системи:
- Насоси котлового контуру (позначення К3, К5): забезпечують циркуляцію теплоносія через котли.
- Насоси мережі опалення: забезпечують циркуляцію теплоносія в контурі опалення.
- Насоси системи ГВП: забезпечують циркуляцію теплоносія через теплообмінник ГВП.
- Насоси підживлення системи (В1): поповнюють втрати теплоносія в системі.

### 5. Водопідготовча установка (пом'якшувачі води, система деаерації):

- Призначення: підготовка води для котлів з метою запобігання утворенню накипу та корозії.

### 6. Мережа трубопроводів:

- Трубопроводи різних діаметрів (Ду) з'єднують всі елементи схеми в єдину систему.
- На трубопроводах встановлена арматура: запірні (крани, засувки), регулююча (клапани), запобіжна (спускники повітря, запобіжні клапани).

### 7. Система автоматики:

- Позначення автоматичних регуляторів та датчиків свідчить про наявність системи автоматичного управління котельнею.
- Автоматика забезпечує: регулювання температури теплоносія, тиску, рівня води в баках, вмикання/вимикання обладнання за заданими параметрами.

### 8. Тепловий пункт (вузол обліку теплової енергії):

						Дипломна робота	Аркуш
							19
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



- циркуляційний насос  $G=45\text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H=6\text{ м}$  LP80-900/BQQE DAB - 4шт.;

Основні технічні характеристики:

- Максимальний витрата: до  $\sim 48\text{ м}^3/\text{год}$  (14–48)
- Напір: до 5.7–6 м (максимум 5.7 м за даними виробника для KLP 80-900 T)
- Патрубок: фланцеве під'єднання DN 80 (80 мм)
- Електроживлення: трифазне  $3\times 230\text{--}400\text{ В}$ , 50 Гц
- Потужність двигуна P2: 1 840 Вт (1.84 кВт)
- Частота обертів: 2 920 об/хв
- Матеріали: корпус і опора – чавун, робоче колесо – технополімер, ротор – нержавіюча сталь; ущільнення – графіт/кераміка
- Макс. температура рідини: до  $120\text{ }^\circ\text{C}$ ; макс. робочий тиск – 10 бар
- Клас захисту: IP 55
- Вага:  $\sim 36.7\text{ кг}$
- Розміри (L×H×W): 360 мм × 453 мм × 360 мм



- теплообмінник Funke FP 31-61 – 1шт.;

Основні технічні характеристики:

- Температурний діапазон: від  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+180\text{...}+200\text{ }^\circ\text{C}$
- Макс. робочий тиск: 25 бар
- Робочий діаметр патрубків: DN 100 ( $\approx 4''$ )
- Площа однієї пластини:  $\approx 0,30\text{ м}^2$ ; максимально можна встановити до 500 пластин, загальна площа — до  $150\text{ м}^2$
- Розміри корпусу: висота  $\approx 1332\text{ мм}$ , ширина  $\approx 480\text{ мм}$ , глибина пакета

						Дипломна робота	Аркуш
							21
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

500–3000 мм залежно від їх кількості  
Особливості

- Асиметричні гофри для оптимального теплового обміну з високим турбулізмом і енергоефективністю .
- Легка розбірка і можливість чистки–реконфігурації, а також додавання чи заміни пластин .
- Висока надійність та довготривала експлуатація —  $\geq 10$  років



- циркуляційний насос G=135 м<sup>3</sup>/год, H=18м CM-G 125-2100/BQQE/11  
DAB -1шт.;

Основні характеристики:

- Тип: Інлайн-насос (фланцевий), модель CM-G (подвійні двигуни доступні в серії DCM-G)
- Продуктивність (Q): від 1,2 до 420 м<sup>3</sup>/год;
- Напір (H): до ~41 м макс. для серії, ваша точка 18 м входить у криву
- Діаметр патрубків: DN 125, фланці PN16 із кріпленнями під манометри
- Матеріали: корпус – чавун, робоче колесо – полімер (з можливістю

						Дипломна робота	Аркуш
							22
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

бронзового)

- Мотор: асинхронний трифазний, 4-полюсний, з зовнішнім вентилятором; клас захисту IP55, ізоляція F
  - Робоча температура:  $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +140\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для DN >50)
  - Максимальний тиск: PN16 (~16 бар)
  - Механічне ущільнення: карбон/кераміка
- циркуляційний насос G=30 м<sup>3</sup>/год, H=15м KLP 50-2000/BQQE DAB -

1 шт.;

#### Основні характеристики

- Серія: KLM/KLP – Інлайн фланцевий насос для опалювальних та систем ГВП
  - Діапазон витрати: 2...67 м<sup>3</sup>/год, макс. напір — 67 м
  - Модель KLP 50-2000 T у діапазоні близько 30 м<sup>3</sup>/год забезпечує напір 15–20 м (разом з робочою точкою)
  - Діаметр фланця: DN 50 (50 мм), стандарт PN 10, можливий PN 16
- Матеріали:

- Корпус та опора – чавун;
- Робоче колесо – технополімер;
- Ущільнення – карбон/кераміка;
- Вісь – нержавіюча сталь AISI 303 or 316
- Температурний діапазон:  $-15\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +120\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Макс. тиск: 10 бар (1 000 кПа)

#### Мотор:

- Двополюсний асинхронний (2950 об/хв) – для KLP;
  - Захист IP 55, ізоляція класу F;
  - Живлення трифазне 230/400 В, 50 Гц
  - Монтаж: горизонтально або вертикально (вал ввєрх)
- бак-накопичувач EA-00-2000 -3 шт.;

#### Основні характеристики:

- Об'єм: ~2000 л (заповнюваний об'єм  $\approx 1965$  л)
- Матеріал: корпус із вуглецевої (чорної) сталі без внутрішнього покриття, товщина стінки  $\approx 3$  мм
- Робочий тиск: до 0,3 МПа (3 бар)
- Макс. температура середовища: до 100 °C

#### Розміри:

- Діаметр корпусу: ~1200 мм без ізоляції
- Висота: ~2105 мм

						Дипломна робота	Аркуш
							23
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



## Основні характеристики:

- Тип: Y-фільтр фланцевий
  - Матеріал корпусу: чавун GGG40, сталь або латунь (для DN < 50)
  - Сітка: нержавіюча сталь AISI 304, 0.8–1.2 мм
  - Макс. тиск: PN16 (або PN25)
  - Температура: до +150 °C
  - Виробники: Zetkama, Valvex, Oventrop, HERZ, ARI, Tiemme
- вимірювальні прилади (термометри, манометри);
- комплект водопідготовки Ecosoft;
- вузли обліку теплової енергії, води.

## 5. Інженерні забудови котельні

Котли класифікуються на різні типи залежно від їхньої потужності, типу палива, матеріалів, робочого тиску та температури, а також від того, чи є вони конденсаційними чи неконденсаційними. Водогрійні котли зазвичай доступні в стандартних розмірах від 10 кВт до понад 30 МВт. У комерційних будівлях природний газ є найпоширенішим паливом для котлів, оскільки він зазвичай легкодоступний, горить чисто і зазвичай дешевший, ніж нафта чи електроенергія.

Існує три основні типи котлів, що використовуються для спалювання природного газу для опалення приміщень, якщо вони використовуються в комерційних будівлях: водотрубні, жаротрубні та чавунні секційні.

Побутові котли загалом нагадують жаротрубні котли, в яких димові гази (гарячі гази згорання) проходять через кілька каналів або труб, які нагрівають воду, що циркулює зовні труб.

Як варіант, у водотрубному котлі вода тече всередині труб, а гарячі гази від згорання обтікають зовнішню частину труб.

Чавунні секційні котли не використовують труб, натомість вони мають секції з проходами для води та газів згорання. Котли класифікуються як низькотискові або високотискові з урахуванням умов безпеки експлуатації. Більшість котлів, що використовуються в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, є котлами низького тиску. Котли низького тиску розраховані на максимальний робочий тиск до 1100 кПа та обмежені максимальною температурою води, що подається в будівлю, до 95°C.

### 5.1. Водопровід та каналізація

						Дипломна робота	Аркуш
							25
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Система водопостачання котельні забезпечує подачу води для:

- технологічного процесу (заповнення та підживлення системи опалення),
- побутових потреб (ГВП),
- обслуговування та промивання обладнання (фільтри, ємності).

*Основні елементи водопровідної мережі:*

Найменування	Колір на схемі	Призначення
Подаючий трубопровід мережної води	червоний	Транспортує гарячу воду від котлів до споживачів
Зворотний трубопровід мережної води	синій	Повертає охолоджену воду назад до котлів
Гаряче водопостачання	помаранчевий	Подача ГВП до внутрішніх споживачів
Циркуляційна лінія ГВП	фіолетовий	Забезпечує циркуляцію гарячої води
Холодне водопостачання та підживлення	бірюзовий	Подає воду до системи з зовнішнього джерела (централізовано або через свердловину)

*Технічні параметри водопровідної мережі:*

- Діаметри труб: Ду25, Ду50 — що свідчить про середню пропускну здатність.
- Матеріал труб (припущення): поліпропілен, сталь оцинкована або РЕ-Х, в залежності від призначення (не уточнено на схемі).
- Прокладка трубопроводів:
  1. частково по стінах (на кронштейнах),
  2. частково під підлогою (відмітки: "під підлогою"),
  3. з підключенням до обладнання через вентиля, крани, запірну арматуру.

Підключення обладнання:

- Котли (K19, K20): підключення подаючого/зворотного трубопроводів.
- Фільтри та баки: обладнані зливом і підведенням холодної води.
- Система підживлення: з'єднана з зовнішньою холодною водою та подає її у контур через захисну арматуру.

Система каналізації призначена для відведення:

						Дипломна робота	Аркуш
							26
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- стоків з фільтрів, зливів котлів і технічного обладнання;
- аварійного переливу з ємностей;
- промивної води;
- побутових стічних вод (якщо передбачено).

*Основні елементи каналізаційної мережі:*

Компонент	Діаметр (Ду)	Розташування
Основний каналізаційний трубопровід	Ду110	Вздовж задньої стіни (зелені лінії)
Відвідні гілки від обладнання	Ду50, Ду25	Від котлів, фільтрів, баків
Вертикальні стояки	—	Позначені "від фільтра", "під підлогою" тощо

**Конструктивні особливості:**

- Система самопливна, тобто ухил труб забезпечує природний рух стоків до виходу.
- Прокладка труб ведеться під підлогою та вздовж стін.
- Передбачено зливні патрубки для аварійного скиду або сервісного обслуговування.
- Всі зливи повинні мати гідрозатвори або сифони, щоб запобігти потраплянню запахів.

*Функціональність і безпека:*

- Каналізація розділена на технологічну (від обладнання) та побутову (за потреби).
- Вузли зливу обладнані запірною арматурою для контролю відведення стоків.
- Система дозволяє безперебійно відводити надлишкову воду, зберігаючи екологічну безпеку.

**5.2. Опалення і вентиляція**

Система опалення та вентиляції в котельні виконує важливі функції:

- підтримання оптимальної температури повітря для роботи обладнання;
- забезпечення нормативного мікроклімату для персоналу;
- видалення надлишкового тепла, вологи та шкідливих газів (CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>);
- протидія конденсації та запиленню.

В проекті передбачено комбіноване вирішення – за рахунок:

						Дипломна робота	Аркуш
							27
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- внутрішньої системи опалення (від котельного обладнання або додаткових теплогенераторів),
- природної та примусової вентиляції.

## Опалення

Тип системи:

- Водяне опалення з використанням теплообмінників або окремого малого котла;
- Можливе використання частини тепла від основного котельного обладнання.

Основні елементи:

- Радіатори опалення або повітряні нагрівачі (в залежності від розміру приміщення);
- Циркуляційний насос, який забезпечує рух теплоносія;
- Автоматика температурного регулювання (термостати, клапани, датчики температури);
- Трубопроводи подачі та звороту (як правило, металопластик або сталеві).

Режими роботи:

- Температура підтримується на рівні  $+10\dots+15\text{ }^{\circ}\text{C}$  у робочій зоні персоналу;
- У зонах із високим тепловиділенням допускається зниження температури до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Вентиляція

Тип вентиляції:

- Комбінована система вентиляції:
  1. Природна вентиляція — через дефлектори, жалюзі, вентиляційні решітки;
  2. Механічна витяжка — через каналні вентилятори або дахові установки.

Основні елементи:

- Приточні отвори/вікна з жалюзями для надходження зовнішнього повітря;

						Дипломна робота	Аркуш
							28
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- Витяжні канали з вентиляторами (розташовані вгорі, над котлами);
- Система управління вентиляцією — ручна або автоматизована (при перевищенні температури чи CO).

Продуктивність:

- Вентиляція розрахована відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 і СНіП 41-01-2003:
  1. 3–5 крат/год для технічних приміщень;
  2. 100 м<sup>3</sup>/год на 1 котел — орієнтовна норма видалення продуктів згоряння, тепла та вологості.

Спеціальні заходи:

- Забезпечення безперервного повітрообміну навіть при аварійному відключенні обладнання.
- Заборона рециркуляції повітря в котельному приміщенні.
- Обов'язкове виведення вентиляції вище покрівлі на 1 м і більше.

## 6. Внутрішні електричні мережі та автоматизація

Ефективна робота модульної пересувної твердопаливної котельні зумовлюється не лише якісним проектуванням теплотехнічної частини, а й надійною роботою внутрішніх електричних мереж та систем автоматизації. В сучасних умовах автоматизація технологічних процесів у котельнях дозволяє забезпечити стабільну подачу тепла, зменшити вплив людського фактору, підвищити безпеку експлуатації та зменшити витрати палива.

Автоматизація такої котельні базується на інтеграції приладів контролю, керування, діагностики та візуалізації. Особливу роль у цьому процесі відіграє компанія «Раут Автоматік», яка є українським виробником сучасних засобів автоматизації технологічних процесів, зокрема – для об'єктів теплогенерації.

У цьому розділі розглянуто структуру внутрішніх електричних мереж котельні, особливості системи автоматизації, а також функціональні можливості та призначення обладнання, що використовується для забезпечення стабільної роботи системи.

### Внутрішні електричні мережі

Електропостачання котельні забезпечується від зовнішньої мережі за допомогою вводу через щит обліку та захисту. Всі споживачі розділяються на

						Дипломна робота	Аркуш
							29
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



Обмін інформацією відбувається через протоколи Modbus RTU або TCP/IP, що дозволяє інтегрувати систему до SCADA або інтернет-моніторингу.

Силосна система подачі пелет

Автоматизована подача пелет виконується через шнековий транспортер, керований інвертором, під управлінням контролера. Система має:

- Датчик рівня пелет у буферному бункері.
- Реле часу або програмний таймер, який дозволяє циклічно подавати паливо.
- Захист від перевантаження та блокування шнека.

Контролер визначає необхідність подачі палива на основі температури в котлі та рівня в бункері, забезпечуючи стабільну та економну роботу котла.

Прилади та обладнання компанії «Раут Автоматік»

Компанія «Раут Автоматік» пропонує комплексні рішення для котельень, включаючи:

- Модулі розширення – для підключення додаткових сенсорів, реле, сервоприводів.
- Програмне забезпечення RautVisu – для побудови SCADA-системи в локальній мережі або через інтернет.
- Шафи керування «під ключ» – з монтажем, проектуванням та сертифікацією.

Системи резервного живлення та безпеки

Для забезпечення безперервної роботи в разі відключення електропостачання передбачено встановлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ) для контролерів, а також резервного дизель-генератора для живлення основних споживачів.

- Система автоматизації також інтегрується з сигналізацією:
- Пожежна сигналізація – виявлення диму/підвищення температури.
- Газова сигналізація – контроль викидів CO, CO<sub>2</sub>.
- Сигналізація аварій – передача даних на GSM або до диспетчерського пункту.

Переваги застосування обладнання компанії «Раут Автоматік»

У процесі автоматизації модульної пересувної котельні особливу увагу приділяється вибору програмно-апаратної платформи, яка забезпечує надійність, функціональність, зручність обслуговування та економічну

						Дипломна робота	Аркуш
							31
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ефективність. У цьому проекті для автоматизації обрано рішення на базі приладів українського виробника «Раут Автоматік», що зарекомендували себе як надійні засоби керування в галузі теплогенерації. Основні переваги їх використання наведено нижче.

### 1. Адаптованість до котельного обладнання

Прилади компанії «Раут Автоматік» розроблені з урахуванням особливостей технологічних процесів твердопаливних котелень. Контролери забезпечують повноцінне керування всіма етапами роботи обладнання, зокрема:

- автоматичну подачу пелет за допомогою шнекового транспортера;
- розпал пального та підтримання режиму горіння;
- керування циркуляційними насосами, вентиляторами, димососами;
- захист від аварійних режимів (перегрів, відсутність тяги, перевантаження шнека тощо).

Це дозволяє створити цілісну систему автоматичного контролю і керування без необхідності додаткової інтеграції сторонніх компонентів.

### 2. Гнучкість і масштабованість системи

Контролери серії RK-300 та модулі вводу/виводу від «Раут Автоматік» мають модульну архітектуру, що дозволяє легко адаптувати систему до конкретних умов експлуатації. До переваг належать:

- можливість підключення аналогових та цифрових датчиків;
- підтримка відкритих інтерфейсів обміну даними (Modbus RTU, Modbus TCP);
- розширення системи за рахунок підключення додаткових модулів без заміни основного контролера;
- можливість інтеграції з SCADA-системами або диспетчерськими пунктами.

Це забезпечує високу масштабованість рішень – від малих котелень до багатокотельних установок або теплопунктів.

### 3. Зручність експлуатації та обслуговування

Для локального керування системою застосовуються сенсорні панелі оператора OP-400 або OP-700, які надають доступ до параметрів, журналу подій, аварій та візуалізації процесу в реальному часі. Особливості, що сприяють зручності експлуатації:

- українськомовний інтерфейс;
- можливість налаштування температурних графіків, режимів подачі

						Дипломна робота	Аркуш
							32
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

палива, аварійних меж;

- дистанційне підключення через Ethernet або GSM-модем;
- візуалізація стану системи у вигляді графіків і мнемосхем.

Це суттєво спрощує роботу персоналу та дозволяє оперативно реагувати на зміни або несправності.

#### 4. Надійність роботи у важких умовах

Обладнання компанії «Раут Автоматік» спроектоване для експлуатації в умовах, характерних для модульних котелень:

- перепади температур (робота в неопалюваних приміщеннях взимку);
- пилове середовище (в зоні силосу та шнеків);
- нестабільне живлення (падіння напруги, короткочасні знеструмлення).

Контролери мають захист від перенапруг, вбудовані функції аварійного збереження параметрів, а також можливість резервного живлення через ДБЖ. Це знижує ризик збоїв та зменшує потребу в обслуговуванні.

#### 5. Економічна доцільність і локальна підтримка

Окремою перевагою є економічна ефективність застосування обладнання «Раут Автоматік»:

- ціна обладнання нижча порівняно з імпортними аналогами (Siemens, Schneider, Wago);
- відсутність ліцензійних обмежень на програмне забезпечення;
- можливість адаптації логіки керування під конкретний об'єкт без залучення сторонніх розробників;
- технічна підтримка, сервісне обслуговування та навчання персоналу здійснюються безпосередньо в Україні.

### 7. Оцінка впливів на навколишнє середовище(ОВНС)

Метою ОВНС є визначення допустимості, доцільності і прийнятності проектних рішень, в тому числі обґрунтування екологічних, економічних, технічних, організаційних, санітарних та інших заходів з метою забезпечення охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки.

Підстави для проведення ОВНС

Згідно «Конвенції про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті», ратифікованої ЗУ від 19 березня 1999 року №534-

						Дипломна робота	Аркуш
							33
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



4.Вплив на атмосферне повітря	Джерелом викиду забруднюючих речовин в атмосферу являються димові труби від твердопаливних котлів. Відбуваються викиди таких забруднюючих речовин в атмосферне повітря: оксид вуглецю, азоту діоксид, вуглецю діоксид, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа).
5.Вплив на рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти	Вплив на рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти відсутній. Під час функціонування запроектованої котельні не відбувається впливу на флору та фауну.

Проектом передбачається будівництво окремо розташованої блочно-модульної котельні потужністю 4100кВт; в якості палива передбачено використання пелет з деревини.

Запроектована котельня – джерело потенційного впливу планової діяльності на навколишнє середовище. Коротка характеристика видів впливів планової діяльності на навколишнє середовище:

Фізико-географічні особливості району і майданчика (траси) будівництва об'єкта.

Даним проектом передбачено встановлення котельні в м.Немирів Вінницької обл. Поверхня майданчику з блочно-модульної котельною відносно рівна, спланована.

Клімат району розташування– континентальний з прохолодною зимою і помірно-жарким літом. Проект розроблений для умов будівництва з розрахунковими температурами зовнішнього повітря, що прийняті відповідно до ДБН В.1.2–2:2006

"Навантаження і впливи" та ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія": - місто Немирів належить до I (Північно-Західного) будівельно-кліматичного району;

- характеристичне значення вітрового навантаження  $W_0=500$  Па;
- характеристичне значення снігового навантаження  $S_0=1400$  Па;
- розрахункова зимова температура повітря для опалення та вентиляції

						Дипломна робота	Аркуш
							35
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

-21°C;

- середня температура найбільш холодного місяця (-5,1°C);

- тривалість опалювального сезону 182 днів;

– розрахункова сейсмічна інтенсивність не перевищує 5 балів.

Середня місячна і річна температура повітря (°C):

<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>VIII</i>	<i>IX</i>	<i>X</i>	<i>XI</i>	<i>XII</i>	<i>рік</i>
-5,1	-3,8	0,5	+8,1	+14,2	+17,2	+18,7	+18	+13,3	+7,6	+1,8	-2,9	+7,3

У холодні дні холодних зим температура повітря може іноді досягати -26 °C нижче нуля (січень і лютий).

У жаркі літні дні найвища температура в 13 годин може досягати 23°C вище нуля.

У середньому за рік переважають вітри північно-західного та західного напрямку.

Повторювальність напрямків вітру і штилів (%%):

	місяць	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	штиль
Зима	I	10,1	5,6	7,4	11,1	13,7	14,7	22,6	14,8	7,1
Літо	VII	15,5	8,2	8,9	7,4	8,3	8,7	19,9	23,1	14,8

Середня швидкість вітру по напрямках (м/сек):

	місяць	Пн	ПнС	С	ПдС	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
Зима	I	4,3	3,3	3,0	3,3	3,4	3,4	4,7	5,0
Літо	VII	3,7	3,1	2,9	3,1	3,2	2,9	3,4	3,9

Середня за рік відносна вологість повітря – 77%.

						Дипломна робота				Аркуш
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата					

Середньорічна кількість опадів складає 617 мм.

Найбільша кількість опадів випадає в літні місяці, найменше - у зимові та на початку весни.

У середньому за рік спостерігається 95 днів із сніговим покривом, поява якого приходиться на середину листопада.

Максимальна глибина сезонного промерзання ґрунтів 1,20 м.  
Нормативна глибина промерзання ґрунту 1,0 м.

Вертикальне планування виконане в проектних відмітках. За відносну позначку  $\pm 0.000$  прийнята відмітка чистої підлоги котельні, яка відповідає абсолютної відмітці 275,50. Найближчою станцією, що проводить аерологічні (висотні) спостереження є Вінницький обласний центр з гідрометеорології в м. Вінниця.

В районі впливу об'єкту відсутні рекреаційні зони, території історико-культурного призначення, об'єкти природно-заповідного фонду, їх охоронні зони і території перспективні для заповідання, шляхи міграції птахів та тварин, популяції та місця росту зникаючих та рідких видів рослин.

Загальна характеристика об'єкта проектування.

Блочно-модульні котельні призначені для забезпечення теплом та гарячою водою будівель і споруд житлово-побутового, адміністративного, виробничого та соціального призначення, обладнаних закритою чи відкритою системою водяного опалювання з примусовою циркуляцією теплоносія.

Запроектована котельня являє собою модуль з 4-ма твердопаливними котлами з ручним завантаження палива. Біля котельні передбачено встановлення силосу для пелет. Для спалювання в котельні використовуються гранули паливні з деревинної сировини (пелети) з слідуючими характеристиками (згідно ДСТУ 8358:2015):

- група якості -II
- нижча теплота згорання – 16,5 МДж/кг;
- щільність – не менше ніж 950 кг/м<sup>3</sup>;
- насипна щільність – не менше ніж 500 кг/м<sup>3</sup>;
- вологість – не більше ніж 12%;

						Дипломна робота	Аркуш
							37
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- зольність – не більше ніж 4%.

Режим роботи котельні – цілодобовий. На повну потужність котельня працює в опалювальний період (182 доби), решта часу – для забезпечення системи гарячого водопостачання споживачів (183 доби). Кількість годин роботи за рік – максимально 8760 год.

Вертикальне планування майданчика будівництва виконано з урахуванням максимального збереження природного рельєфу і з урахуванням відміток існуючого проїзду. Проектом передбачено улаштування проїзду до силосу з покриттям по типу ФЕМ.

Збирання сажи має бути передбачено в герметичні контейнери з кришкою, що розташовані на майданчику для зберігання контейнерів на відстані 20 м від проекту площадки котельні.

Відведення відпрацьованих димових газів від котлів здійснюється окремо від кожного котла через металеві димові труби  $\varnothing 350$ мм висотою 12,0 м від поверхні землі. На виході димових газів від котлів передбачено влаштування циклонів ЦН-15-500-Пр для очищення димових газів від твердих частинок (сажи). Коефіцієнт корисної дії циклону - в середньому 90%.

Котельня по надійності відпуску тепла відноситься до другої категорії.

Будівля котельні - одноповерхова будівля контейнерного типу, III ступеню вогнестійкості, загальними розмірами 26,3x6,6x3,2(h) м, без підвалу та горища, забезпечена шляхами евакуації.

Огороджувальні конструкції котельні – металевий рамний каркас з обшивкою металопрофілем з двох сторін, з утепленням із негорючих матеріалів. Приміщення котельного залу - категорії «Г» за вибухопожежною і пожежною небезпекою, умови середовища відповідно дод. Г ДБН В.2.5-77:2014 – нормальні, забезпечено природним освітленням через вікна. З котельні передбачено виходи безпосередньо назовні.

Техніко-економічні показники:

№ п/п	Найменування показників	Одиниця виміру	Кількість
-------	-------------------------	----------------	-----------

						Дипломна робота	Аркуш
							38
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

1	Загальна теплова потужність блочно-модульної котельні: 1. на опалення 2. на ГВП	МВт (Гкал/год)	4,188(3,6) 3,141(2,7) 1,047(0,9)
2	Загальна електрична потужність котельні	кВт	80
3	Максимальна годинна витрата палива (пелета деревна) для одного котла: при ККД 75% при ККД 82%	327 300	кг/год кг/год
4	Річна витрата палива (пелета деревна)	т/рік	2459,6
5	Річна кількість годин використання	год/рік	8760
6	Загальний ККД при номінальному навантаженні	%	82

Передбачено підключення запроектованої котельні до зовнішніх інженерних мереж – електропостачання, водопроводу, каналізації, тепловим мережам.

Об'єкт запроектовано з виконанням діючих норм, інструкцій і правил по охороні праці і техніки безпеки. Блочно-модульна котельня працює в автоматичному режимі, з присутністю обслуговуючого персоналу.

Під час функціонування об'єкту до навколишнього атмосферного середовища викидатимуться такі забруднюючі речовини:

- 1) оксид вуглецю
- 2) діоксид азоту
- 3) діоксид вуглецю
- 4) речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа).

Оцінка впливів планової діяльності на навколишнє природне середовище.

При оцінці впливів на навколишнє природне середовище виділяються такі його компоненти:

- повітряне середовище;
- клімат і мікроклімат;

						Дипломна робота	Аркуш
							39
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

- геологічне середовище;
- водне середовище;
- ґрунти;
- рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти.

Даним розділом ОВНС розглядається тільки вплив на повітряне середовище як об'єкт навколишнього природного середовища, на який впливає планова діяльність. Характер планової діяльності не передбачає утворення значної кількості шкідливих речовин.

#### Повітряне середовище

В даному розділі підлягає аналізу вплив забруднюючих речовин, що містяться у викидах з димових труб блочно-модульної котельні з урахуванням фонових концентрацій в межах зони впливу цього об'єкту.

#### Розрахунок потужності викидів джерел шкідливих речовин

Розрахунок робимо окремо для двох режимів роботи котельні – зимовий (котельня працює на опалення та ГВП) та літній режим (котельня працює тільки на ГВП).

#### Зимовий режим роботи котельні (разом для двох джерел)

Річна витрата палива (пелета деревна) – складається з річної витрати на опалення 1934,6т/рік та зимові витрати на ГВП -262т/рік.

Теплова потужність котельні- 4188кВт (3,601Гкал/год).

Кількість годин роботи джерела викидів – 182 доби × 24 години = 4368год/рік.

Розрахунок викидів в атмосферу забруднюючих речовин від енергетичної установки виконаний по методиці «Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення» ГКД 34.02.305-2002.

Забруднюючі речовини – оксид вуглецю, азоту діоксид, вуглецю діоксид, речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа).

Розрахункові характеристики твердого палива приведені в таблиці:

						Дипломна робота	Аркуш
							40
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Марка палива	Робоча маса палива							Нижча теплота згорання, МДж/кг, $Q_n^p$	Вихід летючих на горючу масу, %, $V^r$
	Склад, %								
	$W^p$	$A^p$	$S^p$	$C^p$	$H^p$	$N^p$	$O^p$		
Пелета деревна	30	0,7	0	34,6	4,2	0,4	30,1	16,5	85

Валовий викид  $j$ -ої забруднюючої речовини  $E_j$ , т, яка викидається в атмосферу с димовими газами енергетичної установки за проміжок часу  $P$ , визначається як сума валових викидів цієї речовини під час спалювання різних видів палива, зокрема під час їх одночасного спалювання:

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} V_i (Q_i^r)_i,$$

де  $E_{ji}$  – валовий викид  $j$ -ої забруднюючої речовини під час спалювання  $i$ -го палива за проміжок часу  $P$ , т;

$k_{ji}$  – показник емісії  $j$ -ої забруднюючої речовини для  $i$ -го палива, г/ГДж;

$V_i$  – витрата  $i$ -го палива за проміжок часу  $P$ , т;

$(Q_i^r)_i$  – нижча робоча теплота згорання  $i$ -го палива, МДж/кг.

#### Викид оксидів азоту

Під час спалювання органічного палива утворюються оксиди азоту  $NO_x$  (оксид азоту  $NO$  і діоксид азоту  $NO_2$ ), викиди яких визначаються в перерахунку на  $NO_2$ .

Показник емісії оксидів азоту  $k_{NO_x}$ , г/ГДж, з урахуванням заходів скорочення викиду розраховується як

$$k_{NO_x} = (k_{NO_x})_0 f_H (1 - \eta_H) (1 - \eta_{II} \beta)$$

де  $(k_{NO_x})_0$  – показник емісії оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, г/ГДж;

									Аркуш
									41
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Дипломна робота			

$f_H$  – ступінь зменшення викиду  $NO_x$  під час роботи на низькому навантаженні;

$\eta_I$  – ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викиду;

$\eta_{II}$  – ефективність вторинних заходів (азотоочисної установки);

$\beta$  – коефіцієнт роботи азотоочисної установки.

Значення узагальненого показника емісії оксидів азоту під час спалювання органічного палива за різними технологіями без урахування заходів щодо скорочення викиду  $NO_x$  визначаються згідно з таблицею Д.5 додаток Д ГКД 34.02.305-2002 .

Під час роботи енергетичної установки на низькому навантаженні зменшується температура процесу горіння палива, завдяки чому скорочується викид оксидів азоту. Ступінь зменшення викиду  $NO_x$  при цьому визначається за емпіричною формулою

$$f_H = (Q_\phi / Q_H)^z,$$

де  $f_H$  – ступінь зменшення викиду оксидів азоту під час роботи на низькому навантаженні;

$Q_\phi$  – фактична теплова потужність енергетичної установки, МВт;

$Q_H$  – номінальна теплова потужність енергетичної установки, МВт;

$z$  – емпіричний коефіцієнт, який залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива тощо.

Якщо відома тільки продуктивність котла  $D$ , його теплова потужність  $Q$  визначається згідно з додатком Ж ГКД 34.02.305-2002. Емпіричний коефіцієнт  $z$  визначається під час випробувань енергетичної установки. За їх відсутності значення  $z$  береться з таблиці Д.6 додаток Д ГКД 34.02.305-2002.

Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовано на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згорання енергетичної установки. До цих заходів відносяться: використання малотоксичних пальників, ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів тощо. Значення ефективності застосування первинних заходів  $\eta_I$ , окремих та їх комбінацій, визначаються за результатами випробувань енергетичної установки після їх впровадження і затверджуються відповідними актами. Орієнтовні значення

						Дипломна робота	Аркуш
							42
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ефективності первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту наведено в таблиці Д.7 додаток Д ГКД 34.02.305-2002.

За неможливості досягти за допомогою первинних заходів допустимої концентрації оксидів азоту в димових газах для їх очищення від  $\text{NO}_x$  використовують азотоочисну установку. Значення ефективності  $\eta_{\text{Д}}$  та коефіцієнта роботи азотоочисної установки (відношення часу роботи азотоочисної установки до часу роботи енергетичної установки) визначаються під час випробувань, а за їх відсутності – згідно з таблицею Д.8 додаток Д ГКД 34.02.305-2002.

Якщо відома тільки продуктивність котла  $D$ , його теплова потужність  $Q$  визначається згідно з додатком Ж ГКД 34.02.305-2002. Емпіричний коефіцієнт  $z$  визначається під час випробувань енергетичної установки. За їх відсутності значення  $z$  береться з таблиці Д.6 додаток Д ГКД 34.02.305-2002.

Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовано на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згорання енергетичної установки. До цих заходів відносяться: використання малотоксичних пальників, ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів тощо. Значення ефективності застосування первинних заходів  $\square I$ , окремих та їх комбінацій, визначаються за результатами випробувань енергетичної установки після їх впровадження і затверджуються відповідними актами. Орієнтовні значення ефективності первинних заходів зменшення викиду оксидів азоту наведено в таблиці Д.7 додаток Д ГКД 34.02.305-2002.

Розрахунок викидів оксидів азоту приведена в табличній формі:

$V_i$ , витрата палива за проміжок часу $P$ , т	2196,6
$Q_i^r$ , нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг	16,5
$(k_{\text{NO}_x})_0$ , показник емісії оксидів азоту без урахування заходів по зниженню викидів, г/ГДж	200
$Q_{\text{ф}}$ , факт. теплова потужність енергетичної установки, МВт	4,188
$Q_{\text{н}}$ , ном. теплова потужність енергетичної установки, МВт	4,188
$z$ , емпіричний коефіцієнт, якій залежить від виду енергетичної установки, її потужності, типу палива та т.п.	1,15
$f_{\text{н}}$ , ступінь зменшення викиду $\text{NO}_x$	1,0

$\eta_p$ , ефективність первинних (режимно-технологічних) заходів скорочення викидів	0
$\eta_{II}$ , ефективність вторинних заходів (азотоочищувальні установки)	0
$\beta$ , коефіцієнт роботи азотоочищувальної установки	0
$k_{NO_x}$ , показник емісії оксидів азоту, г/ГДж	200
E, викид оксидів азоту, т/рік	7,25
Викид оксидів азоту, г/с	0,461

### Викид оксиду вуглецю

Узагальнений показник емісії забруднювальної речовини є середньою питомою величиною викиду для певної категорії енергетичних установок, певної технології спалювання палива, певного виду палива з урахуванням заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини. В даному проекті прийнято значення узагальненого показника емісії оксиду вуглецю  $k_{CO} = 15$  г/ГДж (залежно від виду палива, потужності енергетичної установки та технології спалювання) який визначається з таблиці Е.1 додатка Е ГДК 34.02.305-2002.

Розрахунок викидів оксиду вуглецю приведена в табличній формі:

$V_i$ , витрата і-го палива за проміжок часу Р, т	2196,6
$(Q_i^r)$ , нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг	16,5
$k_{CO}$ , показник емісії оксиду вуглецю, г/ГДж	195
E, викид оксиду вуглецю, т/рік	7,07
Викид оксиду вуглецю, г/с	0,449

### Викид діоксиду вуглецю

Показник емісії діоксиду вуглецю  $k_{CO_2}$ , г/ГДж, під час спалювання органічного палива визначається по формулі:

$$k_{CO_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c = 3,67 k_c \varepsilon_c,$$

де



де  $k_{ТВ}$  – показник емісії твердих часток, г/ГДж;

$Q_i^r$  – нижча робоча теплота спалювання палива, МДж/кг;

$A^r$  – масовий вміст золи в паливі на робочу масу, %;

$a_{вин}$  – частка золи, яка виходить з котла у вигляді летючої золи;

$Q_c$  – теплота спалювання вуглецю до  $CO_2$ , яка рівна 32,68 МДж/кг;

$q_4$  – втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива, %;

$\eta_{зу}$  – ефективність очищення димових газів від твердих часток;

$k_{ТВС}$  – показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбента та оксидів сірки та твердих часток сорбенту, г/ГДж.

Розрахунок викиду твердих часток приведена в табличній формі :

$B_i$ , річна витрата палива, т/рік	2196,6
$(Q_i^r)_i$ , нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг	16,5
$A^r$ , масовий зміст золи в паливі на робочу масу, %	0,7
$a_{вин}$ , частка золи, яка видаляється у вигляді летючої золи	0,95
$Q_c$ , теплота згорання вуглецю до $CO_2$ , МДж/кг;	32,68
$\Gamma_{ун}$ , масовий зміст горючих речовин в уносі твердих часток	1,5
$q_4$ , втрати тепла, які пов'язані з механічним недопалом палива, %	0,5
$\eta_{зу}$ , ефективність очищення димових газів	0,9
$k_{ТВС}$ , показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбента та оксидів сірки і твердих часток сорбента, г/ГДж	0

$k_{ТВ}$ , показник емісії твердих часток, г/ГДж	693,649
Е, викид твердих частинок, т/рік (з урахуванням очищення в циклоні)	2,51
Викид твердих частинок, г/с (з урахуванням очищення в циклоні)	0,16

Визначення об'єму сухих димових газів (одна димова труба):

Вихідні дані для проведення розрахунків отримані на основі тепломеханічної частини проекту. Обсяг викидів газоповітряної суміші:

Питомий обсяг сухих димових газів  $v_{дг}^0$  визначається по формулі:

$$v_{дг}^0 = 0,01(1,866 \times C^{ВЗГ} + 0,8 \times N^r) + 3,762 \times v_{O_2}$$

де  $N^r$  - масовий вміст азоту в паливі на робочу масу, %;

$v_{O_2}$  - питомий обсяг кисню, необхідний для проходження стехіометричних реакцій окислення, нм<sup>3</sup>/кг;

$C^{ВЗГ}$  - масовий вміст вуглецю палива, що згорів, на робочу масу, %

$$v_{O_2} = 0,01 (1,866 \times C^{ВЗГ} + 5,56 \times H^r - 0,7 \times O^r),$$

де  $H^r$  - масовий вміст водню в паливі на робочу масу, %;

$O^r$  - масовий вміст кисню в паливі на робочу масу, %.

$$v_{O_2} = 0,01(1,866 \times 34,6 + 5,56 \times 4,2 + 0,7 \times 0 - 0,7 \times 30,1) = 0,67 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

$$v_{дг}^0 = 0,01(1,866 \times 34,6 + 0,7 \times 0 + 0,8 \times 0,4) + 3,76 \times 0,67 = 3,17 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

Отримане значення  $v_{дг}^0$  через відсутність кисню в димових газах (коефіцієнт надлишку повітря  $a=1$ ) може бути приведене до стандартного змісту кисню в димових газах 6%

$$v_{дг} = v_{дг}^0 (21/(21 - O_2ст)) = 3,17 \times (21/(21 - 6)) = 4,4 \text{ нм}^3/\text{кг}$$

де  $v_{дг}$  - питомий обсяг сухих димових газів, приведений до стандартного вмісту кисню в димових газах, нм<sup>3</sup>/кг;

						Дипломна робота	Аркуш
							47
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

$v_{дг}^0$  - питомий обсяг сухих димових газів при  $O_2 = 0\%$ ,  $нм^3/кг$ ;

$O_{2ст}$  - стандартний об'ємний вміст кисню в сухих димових газах, %.

$$V = V_{год} \times v_{дг} / 3600 = 327 \times 4,4 / 3600 = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

де  $V = 327 \text{ кг/год}$  – годинна витрата палива

Перелік забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу від джерел викидів котельні (зимовий період):

Найменування речовини	ГДК $мг/м^3$	Клас небезпеки	Кількість викидів в атмосферу	
			г/сек	тн/рік
1	2	3	4	5
оксид вуглецю	5	4	0,449	7,07
діоксид азоту	0,2	2	0,461	7,25
діоксид вуглецю	-	4	237,73	3738,33
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	0,5	3	0,16	2,51

#### Літній режим роботи котельні

Річна витрата палива (пелета деревна) – літні витрати на ГВП -263т/рік.

Теплова потужність котельні- 1047кВт (0,9Гкал/год).

Кількість годин роботи джерела викидів – 183 доби  $\times$  24 години = 4392 год/рік.

Розрахунок викидів оксидів азоту:

$V_i$ , витрата палива за проміжок часу $P, т$	263
$Q_i^r$ , нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг	16,5
$(k_{NOx})_0$ , показник емісії оксидів азоту без урахування заходів по зниженню викидів, г/ГДж	200



$\Gamma_{\text{вин}}$ , масовий зміст горючих речовин в уносі твердих часток, %	1,5
$\Gamma_{\text{шл}}$ , масовий зміст горючих речовин в шлаці, %.	0,5
$\epsilon_c$ , – ступень окислення вуглецю палива	1
$k_{\text{CO}_2}$ , показник емісії діоксиду вуглецю, г/ГДж	103143,63
E, викид діоксиду вуглецю, т/рік	447,59
Викид діоксиду вуглецю, г/с	28,31

Розрахунок викиду твердих часток:

$B_i$ , річна витрата палива, т/рік	263
$(Q_i^r)$ , нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг	16,5
$A^r$ , масовий зміст золи в паливі на робочу масу, %	0,7
$a_{\text{вин}}$ , частка золи, яка видаляється у вигляді летючої золи	0,95
$Q_c$ , теплота згорання вуглецю до $\text{CO}_2$ , МДж/кг;	32,68
$\Gamma_{\text{ун}}$ , масовий зміст горючих речовин в уносі твердих часток	1,5
$q_4$ , втрати тепла, які пов'язані з механічним недопалом палива, %	0,5
$\eta_{\text{зу}}$ , ефективність очищення димових газів	0,9
$k_{\text{ТВС}}$ , показник емісії твердих продуктів взаємодії сорбента та оксидів сірки і твердих часток сорбента, г/ГДж	0
$k_{\text{ТВ}}$ , показник емісії твердих часток, г/ГДж	693,649
E, викид твердих частинок, т/рік (з урахуванням очищення в циклоні)	0,301

Викид твердих частинок, г/с (з урахуванням очищення в циклоні)	0,019
--	-------

Перелік забруднюючих речовин, які викидаються в атмосферу відджерел викидів котельні (літній період):

Найменування речовини	ГДК мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Кількість викидів в атмосферу	
			г/сек	тн/рік
1	2	3	4	5
оксид вуглецю	5	4	0,054	0,85
діоксид азоту	0,2	2	0,055	0,87
діоксид вуглецю	-	4	28,31	447,59
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	0,5	3	0,019	0,301

Загальна кількість забруднюючих речовин від котельні:

Найменування речовини	ГДК мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Кількість викидів в атмосферу	
			г/сек	тн/рік
1	2	3	4	5
оксид вуглецю	5	4	0,503	7,92
діоксид азоту	0,2	2	0,516	8,12
діоксид вуглецю	-	4	266,04	4185,92
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (сажа)	0,5	3	0,179	2,82

Клімат і мікроклімат.

						Дипломна робота	Аркуш
							51
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Блочно-модульна котельня запроектована в зоні помірно-континентального клімату з помірно-холодною зимою та теплим літом. Змін мікроклімату у випадку впливу планової діяльності (функціонування об'єкту) не відбувається. В зв'язку з цим заходів з запобігання негативним впливам планової діяльності на клімат і мікроклімат проектом не передбачено.

#### Геологічне середовище

Ніякого негативного впливу на геологічне середовище в процесі функціонування запроектованої котельні не відбувається.

#### Водне середовище

Джерелом водопостачання для потреб блочно-модульної котельні є існуючий господарчо-питний водопровід на території розташування котельні. Якість води відповідає ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Поповнення витоків води в межах котельної забезпечується за допомогою автоматичної станції водопостачання через пристрій хімоводоочищення, або безпосередньо з водопровідної мережі.

Відведення дренажних та аварійних стоків з приміщення котельні здійснюється у зовнішні мережі каналізації із застосуванням колодязя-охолоджувача. Умовно чисті стоки від обладнання та пристрою хімоводоочищення за допомогою воронок та шлангів гнучких дренажних, скидаються в загальний трубопровід каналізації Ду110 мм та відводяться в зовнішній каналізаційний колодязь, який знаходиться ззовні котельні.

Взагалі, негативний вплив на водне середовище в робочому режимі експлуатації обладнання мінімальний і можливий лише при пошкодженні системи каналізації, а також має випадковий характер, локальний по місцю розташування, короткочасний по часу і попереджається організацією надійного контролю за технічним станом системи каналізації.

#### Землі та ґрунти

Ніякого негативного впливу на ґрунти в процесі будівництва та експлуатації котельні не відбувається. На території розташування котельні передбачені удосконалені покриття що запобігають ерозії ґрунту. Вертикальне планування майданчика будівництва виконане з урахуванням максимального збереження природного рельєфу і з урахуванням відміток існуючого проїзду.

Рослинний і тваринний світ, природоохоронні території та об'єкти

						Дипломна робота	Аркуш
							52
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Від запроектованої котельні негативного впливу на рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти не відбувається.

## 8. Техніко-економічні обґрунтування

В умовах неухильного зростання цін на енергоносії, а також очікуваного подальшого підвищення вартості природного газу, питання підвищення енергоефективності та енергозбереження набувають особливої актуальності. Зокрема, в Україні витрати енергоресурсів на одиницю валового внутрішнього продукту перевищують аналогічні показники розвинених країн у 2–3 рази, що зумовлює необхідність модернізації підходів до генерації та використання теплової енергії.

Модульна пересувна твердопаливна котельня з автоматизованою подачею пелет є ефективним рішенням для досягнення високої енергоекономічної ефективності на об'єктах з децентралізованим тепlopостачанням або у випадках аварійних ситуацій та мобільного розгортання.

З метою оптимізації виробництва пари та зменшення втрат енергії перспективним напрямом є інтеграція електрогенеруючих енергетичних установок малої потужності, які можуть бути створені на основі:

- парових машин,
- осьових і радіальних парових або газових турбін,
- гвинтових турбін,
- іншого компактного енергетичного обладнання.

Такі установки дозволяють не лише забезпечити споживачів тепловою енергією, а й частково або повністю виробляти електроенергію, що підвищує загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) системи та забезпечує економію ресурсів.

Завдання енергозбереження, пов'язані з установкою турбін малої потужності в контур котельної установки, можна класифікувати наступним чином:

Заміна процесу дроселювання пари в традиційних редуційно-охолоджувальних установках на процес розширення пари в паровій турбіні, що дозволяє одночасно виробляти електроенергію та зменшувати втрати тиску без додаткових витрат палива.

Використання надлишкових парогенеруючих потужностей — наприклад, у промислових ТЕЦ або великих котельнях, де частина пари може бути використана для електрогенерації.

						Дипломна робота	Аркуш
							53
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

Можливість автономної роботи в ізольованих або віддалених енергетичних районах, де централізоване енергопостачання є нестабільним або відсутнім.

Таким чином, використання модульної пересувної твердопаливної котельні в поєднанні з технологіями когенерації (одночасного виробництва теплової та електричної енергії) є технічно обґрунтованим та економічно доцільним кроком у напрямку підвищення енергетичної ефективності, зниження залежності від традиційних енергоносіїв і досягнення стратегічних цілей енергетичної незалежності.

Інвестиційні варіанти, розглянуті у цьому техніко-економічному обґрунтуванні (зокрема модульна пересувна твердопаливна котельня з автоматизованою подачею пелети потужністю 4100 кВт та інші альтернативні джерела теплозабезпечення), є взаємовиключними проєктами. Порівняння з можливістю продовження експлуатації існуючих джерел тепlopостачання на об'єкті не проводилося.

Базовою датою для всіх економічних розрахунків прийнято 1 січня 1978 року, при цьому всі грошові потоки наведено у поточних доларах на кінець відповідного року. Ці значення були скориговані відповідно до прогнозних графіків витрат, наданих PPG, або оцінених компанією PSE.

До аналізу застосовуються відповідні коефіцієнти ескалації:

Загальний коефіцієнт інфляційної ескалації використовується для рахунку оборотного капіталу та вступних витрат.

Коефіцієнт ескалації на будівельну працю поєднується з коефіцієнтом ескалації будівельних матеріалів, утворюючи складний будівельний коефіцієнт, який застосовується до відповідних капітальних витрат у період будівництва.

Також у розрахунках враховується інвестиційний податковий кредит у розмірі 10%, який застосовується до всіх капіталізованих витрат під час будівництва. Винятком є лише витрати на придбання земельної ділянки — на неї податковий кредит не поширюється.

Для оцінки економічної ефективності обрано метод чистої приведеної вартості (NPV), що є загальноприйнятим у промисловості при попередній оцінці інвестиційних альтернатив.

Грошові потоки моделюються на повний життєвий цикл проєкту – 30 років – з урахуванням основних витрат і надходжень, пов'язаних із реалізацією кожної альтернативи. Результуючі чисті грошові потоки дисконтуються за

						Дипломна робота	Аркуш
							54
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		



Котельня монтується в індустріальні металеві контейнери, обладнані системою димовидалення, освітленням, пожежогасінням, вентиляцією, ізоляцією та системами сигналізації.

### Організаційні рішення

Монтаж модульної котельні передбачає:

- Транспортування модулів до місця встановлення (в межах України — за 1–3 доби)
- Підготовку бетонowanego або щебеневого майданчика
- Встановлення контейнерів та з'єднання комунікацій (тепломережа, електрика)
- Пусконаладжувальні роботи та тестовий запуск
- Навчання обслуговуючого персоналу

Час повного розгортання котельні становить до 7 діб. У разі необхідності вона може бути перевезена на новий об'єкт без втрати обладнання чи ефективності.

### Енергетичні розрахунки

- Річне теплове навантаження (за середнім коефіцієнтом використання 0,34):
- Середня теплота згоряння пелет — 4,8 кВт·год/кг
- Необхідна кількість пелет на рік:
- Місячне споживання (в опалювальний період  $\approx$  6 місяців):  $\approx$  4233 т

### Економічне обґрунтування

Первинні інвестиції:

- Котельня з усім обладнанням:  $\approx$  11 000 000 грн
- Силос, шнекова подача, автоматика:  $\approx$  2 500 000 грн
- Проектування, монтаж, доставка:  $\approx$  1 000 000 грн Разом:  $\approx$  14 500 000 грн

Експлуатаційні витрати (на рік):

- Пелети (7500 грн/т):  $25400 \times 7500 = \approx$  190 500 000 грн
- Обслуговування та ЗП:  $\approx$  600 000 грн
- Амортизація (10 років):  $\approx$  1 450 000 грн Разом:  $\approx$  192 550 000 грн

Порівняння з газовою котельнею:

- Газ (16 грн/м<sup>3</sup>, 1 м<sup>3</sup>  $\approx$  10 кВт·год): Вартість газу:  $1,22 \text{ млн} \times 16 = \approx$  19 520 000 грн

						Дипломна робота	Аркуш
							56
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		





Стаття	Обсяг	Вартість, грн
Разом		8 010 000

### 3. Економічний ефект

- У разі заміни електроопалення – економія до 50%.
- Очікуваний термін окупності – 2,5–4 роки залежно від вартості палива та теплового навантаження.
- Собівартість 1 Гкал тепла — 1300–1500 грн.

## Обґрунтування вибору твердопаливної котельні

### *Енергонезалежність*

Пересувна твердопаливна котельня працює на біомасі — пелетах, що дозволяє знизити залежність від традиційних енергоносіїв (газу, вугілля, мазуту). Це особливо важливо у регіонах, де немає газифікації або в умовах обмежень на споживання природного газу.

### *Економічна доцільність*

Пелети є дешевшим паливом у порівнянні з електроенергією чи газом, особливо в умовах зростання тарифів. Крім того, обладнання може працювати автономно та не потребує частого обслуговування, що зменшує експлуатаційні витрати.

Вид палива	Вартість 1 Гкал, грн (орієнтовно)	Коментар
Природний газ	2000–2500	Залежить від тарифу
Пелети (деревні)	1300–1600	Стабільна ціна
Електроенергія	3000–4000	Неефективно для опалення

### *Екологічність*

Пелети виготовляються з відходів деревопереробної промисловості, тому їх використання не призводить до додаткових викидів CO<sub>2</sub> — викиди компенсуються в процесі росту деревини (вуглецево-нейтральне паливо).

### *Мобільність*

Пересувна котельня монтується в контейнерному або шасі-блоковому виконанні. Це дає можливість оперативно змінювати місце її встановлення без необхідності будівництва капітальних об'єктів. Наприклад, її можна використовувати для сезонного опалення шкіл, лікарень або для аварійного теплопостачання.

						Дипломна робота	Аркуш
							59
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

## Список літератури

1. Sorsa T. Standardization and modularization of BFB auxiliaries: start-up burners. – 2023.
2. Bennett G. J. The secret life of boilers: Dynamic performance of residential gas boiler heating systems-a modelling and empirical study : дис. – UCL (University College London), 2019.
3. Висотіна О. О. Автоматизована система керування опалення за допомогою теплої підлоги. – 2023.
4. Shah Y. T. Modular systems for energy and fuel recovery and conversion. – CRC Press, 2019.
5. Rogalev N. et al. Steam boilers' advanced constructive solutions for the ultra-supercritical power plants //International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Т. 11. – №. 18. – С. 9297-9306.
6. Samarasinghe T. et al. Dependency Structure Matrix and Hierarchical Clustering based algorithm for optimum module identification in MEP systems //Automation in Construction. – 2019. – Т. 104. – С. 153-178.
7. Qi Z. et al. BIM-Based Automated Multi-Air Distribution Layout Generation for Office Buildings: A Case Study //Buildings. – 2023. – Т. 13. – №. 7. – С. 1819.
8. Yan G. et al. A Review of Life Cycle Construction Process and Cutting-Edge Technology in Prefabricated MEP Installation Engineering //Buildings. – 2024. – Т. 14. – №. 3. – С. 630.
9. Малкін Е. С., Погосов О. Г. Методика техніко-економічного обґрунтування впровадження парових турбін малої потужності в системах теплопостачання промислових підприємств та результати її розповсюдження на типові редуційно-охолоджувальні установки. – 2014.
10. SITE P. Feasibility Study. – 1978.
11. Garrido-Píriz P., Sánchez-Barroso G., García-Sanz-Calcedo J. A stochastic approach to feasibility analysis of boiler replacement in educational buildings in Extremadura (Spain) //Energy, Sustainability and Society. – 2022. – Т. 12. – №. 1. – С. 40.

						Дипломна робота	Аркуш
							60
Зм.	Кільк.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		