

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут: Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад.
І.С.Гулого

Кафедра: Теплоенергетики та холодильної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту

_____ Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« _____ » _____ 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Валентин ПЕТРЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« _____ » _____ 2024р .

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності _____ 144 Теплоенергетика _____

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____

_____ Теплоенергетика та енергоефективні технології

на тему: Розроблення системи централізованого теплопостачання будівлі з використання поновлювальних джерел енергії

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЕ-1-10М

_____ Масліков Олексій Леонідович _____

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник _____ Бойко Володимир Олександрович _____

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Рецензент _____

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я, як здобувач Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад.І.С.Гулого

Кафедра теплоенергетики та холодильної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 144 Теплоенергетика

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Теплоенергетика та енергоефективні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕХТ

проф. Петренко В.П.

“1” жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Маслікова Олексія Леонідовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розроблення системи централізованого теплопостачання будівлі з використання поновлювальних джерел енергії

керівник роботи: к.т.н., доц. Бойко Володимир Олександрович

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від “1”10.2024 року № 859-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 02.12.2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

Вступ

1. Аналіз світових трендів та систем теплопостачання.

2. Техніко-економічний та екологічний розрахунок джерел теплопостачання

3. Розрахунок технічних рішень, вибір основного обладнання та розрахунок техніко-економічних і екологічних показників

Висновки

Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

презентація Power Point (слайди)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 1.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз світових трендів та систем теплопостачання	1.10-21.10.24	Виконано
	Техніко-економічний та екологічний розрахунок джерел теплопостачання	22.10-25.10.24	Виконано
	Розрахунок технічних рішень, вибір основного обладнання та розрахунок техніко-економічних і екологічних показників	04.11-18.11.24	Виконано
	Оформлення роботи	19.11-25.11.24	Виконано
	Підготовка презентації в Power Point	26.11-2.12.24	Виконано

Здобувач _____
(підпис)

Масліков О.Л.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

доцент Бойко В.О.
(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ	10
1. Аналіз світових трендів та систем теплопостачання	12
1.1 Виклики для сучасної інфраструктури міст майбутнього.....	12
1.2 Розвиток систем централізованого теплопостачання	13
1.3 Системи теплопостачання України.....	16
1.4 Аналіз доступних джерел енергії.....	18
2. Техніко-економічний та екологічний розрахунок джерел теплопостачання.....	20
2.1 Відомості про об'єкт дослідження.....	20
2.2 Розрахунок максимальних та оптимальних навантажень.....	21
2.2.1 Розрахунок системи опалення.....	21
2.2.2 Розрахунок системи ГВП.....	23
2.2.3 Розрахунок річного споживання	24
3. Розрахунок технічних рішень, вибір основного обладнання та розрахунок техніко-економічних і екологічних показників.....	25
3.1. Газова прибудована котельня котельня.....	25
3.1.1 Розрахунок економічної складової технічного рішення.....	27
3.1.2 Визначення споживання енергоносіїв (природній газ).....	28
3.1.3 Екологічний аспект. Розрахунок викидів CO ₂ в атмосферу.....	30
3.2 Підключення до системи ЦТ (джерело існуюча квартальна котельня).....	31
3.2.1 Розрахунок трубопроводів.....	33
3.2.2 Розрахунок економічної складової технічного рішення.....	35
3.2.3 Визначення споживання енергоносіїв (природній газ).....	35
3.2.4 Екологічний аспект. Розрахунок викидів CO ₂ в атмосферу.....	36
3.3 Промисловий тепловий насос	37
3.3.1 Вибір теплового насосу	40
3.3.2 Визначення споживання електричної енергії.....	42

3.3.3 Екологічний аспект. Розрахунок викидів CO ₂ в атмосферу.....	44
3.4 Вибір оптимального технічного рішення.....	45
3.4.1 Розрахунок термінів окупності технічних рішень.....	45
3.4.2 Вибране технічне рішення.....	46
Висновки.....	48
Список використаної літератури.....	49

ІНФОРМАЦІЙНИЙ БЛОК

Актуальність дослідження.

Використання поновлювальних джерел енергії в системах теплопостачання це головний тренд сьогодення. Енергетичні концепції всіх країн світу передбачають перехід на відновлювальні джерела енергії, що дає даній роботі актуальність.

Зв'язок дослідження роботи з науковими програмами.

Робота виконана відповідно плану НДР кафедри ТЕХТ ННІТІ ім акад І.С. Гулого НУХТ на 2024 р.

Мета дослідження.

Порівняти застосування різних систем централізованого теплопостачання будівлі у тому числі з використання поновлювальних джерел енергії з точки зору технічної, економічної та екологічної ефективності.

Завдання дослідження.

Вивчення різних систем централізованого теплопостачання будівлі, їх порівняльний аналіз з метою визначення оптимального варіанту.

Об'єкт дослідження.

Систем централізованого теплопостачання будівлі.

Предмет дослідження.

Оптимальний варіант централізованого теплопостачання будівлі з поновлювальних джерел енергії з точки зору технічної, економічної та екологічної ефективності.

Практичне значення отриманих результатів.

Результати дослідження слугуватимуть підставою для розробки рекомендацій щодо оптимального використання теплових насосів в освітніх закладах, що сприятиме підвищенню енергоефективності та зменшенню викидів в атмосферу.

Особистий внесок магістранта.

Магістрант особисто вивчав провів аналіз можливих варіантів централізованого теплопостачання будівлі та виконав розрахунки економічної доцільності їх застосування та аналіз екологічного впливу.

Публікації.

За матеріалами даного дослідження відсутні публікації автора.

Структура магістерської роботи.

Магістерська робота складається із вступу, 3 розділів, висновків. Повний осяг роботи становить 79 стор. Робота містить 9 таблиць та 10 рисунків.

АНОТАЦІЯ

В роботі розглянуто сучасні тенденції джерел генерації теплової енергії та приклади технічних рішень, які можуть бути використані для реалізації поставленої задачі – підбір найбільш ефективного і екологічного джерела теплової енергії при будівництві житлових, громадських та комерційних будівель.

Виконано підбір основного обладнання та розраховані техніко-економічні та екологічні показники використання різних джерел та зроблений обґрунтований висновок щодо вибору найбільш оптимального варіанту, який буде відповідати сучасним мегатрендам та викликам, які будуть стояти перед Україною при майбутній відбудові та інтеграції до Європейської спільноти.

Ключові слова: система централізованого тепlopостачання тепловий насос, прибудована котельня, викиди CO₂, енергоефективність.

ABSTRACT

This study explores current trends in heat energy generation sources and presents technical solutions for selecting the most efficient and environmentally friendly heat energy source for the construction of residential, public, and commercial buildings.

The selection of the main equipment has been conducted, and the technical, economic, and environmental indicators of various sources have been calculated. A well-substantiated conclusion has been made regarding the choice of the most optimal option that aligns with modern megatrends and the challenges Ukraine will face during future reconstruction and integration into the European community.

Keywords: district heating system, heat pump, attached boiler house, CO2 emissions, energy efficiency.

ВСТУП

Світові тенденції до скорочення викидів CO₂ та зростаюча роль відновлювальних джерел і технології направлені на підвищення енергоефективності - це загальносвітовий тренд, що набуває все більшої популярності .

Погіршення стану навколишнього середовища та зміна клімату є загрозою для світу, і стає все більше в фокусі розвинених країн та країн що розвиваються . Боротися з цими загальними викликами можливо лише разом починаючи на рівні будівлі і далі рухатися до рівня країн та континентів

Європейський Союз має ціль до 2050 року, базуючись на основі Нового зеленого Курсу (Green New Deal), стати вуглецево-нейтральним континентом.

Але одних законів та планів недостатньо. Необхідно також розробляти та інвестувати в чисті технології, декарбонізація енергетичного сектора і підвищення енергетичної ефективності

Більше 40% всієї теплової енергії споживають будівлі і це є основним фокусом та потенціалом до зменшення викидів CO₂ та використання викопного палива.

Угода про асоціацію між Україною та Європейським союзом включає зобов'язання по впровадженню реформ в енергетичній сфері. Законодавчою прийнято закон «Про енергетичну ефективність будівель». Тобто, якщо Україна хоче стати членом Європейського Союзу, повинні рухатися в напрямку, що і Європейські держави.

Найважливіший захід для зменшення викидів CO₂ - це захід по підвищенню енергоефективності і він сприятимемо більш високій частині відновлюваної енергії. Енергоефективність важлива починаючи з виробництва енергії, її транспортування і споживання енергоресурсів на рівні споживачів. Енергоефективний підхід, при плануванні теплопостачання нових будівель, а також реконструкції існуючого фонду дозволить досягати високих економіко-екологічних результатів як сьогодні так і закласти базу на майбутнє.

Як прикладу, будівлі (громадські, житлові, промислові тощо) є найбільшими споживачами енергії. В Європі це на рівні 45%. Як приклад, в Україні, за різними оцінками орієнтовно 80% житлового фонду – це будинки, що збудовані до 2000 року та мають неефективні системи генерації, розподілу та споживання – і споживають більше 50% (достеменно оцінити наразі неможливо).

Базуючись на звітах країн ЄС можемо констатувати, що централізовані системи (ЦТ) мають ключову роль, забезпечуючи високий рівень енергоефективності, сто відсоткову частину джерел відновлювальної енергії і тісний взаємозв'язок між секторами в енергосистемі. Разом з тим високоефективні будівлі, які є елементом енергосистеми, суттєво впливають ефективність.

Основна задача будь-якої системи теплопостачання полягає в тому, щоб якісно забезпечити споживача енергією, створити можливість підтримувати параметри мікроклімату та споживати її розумно та ефективно.

Отже, плануючи будівництво джерел теплопостачання в першу чергу ми маємо оцінити існуючі варіанти та можливості враховуючи максимально можливу кількість факторів і вибрати найбільш оптимальне техніко-економічно обґрунтоване рішення, яке також має бути екологічним і мати можливість до подальшої модернізації та інтеграції в систему ЦТ міста, для теплопостачання будівель

В даній роботі буде проведено аналіз технічних рішень по вибору джерела теплопостачання будівель (житлового мікрорайону з об'єктами соціальної сфери (дитячий садочок)) їх та їх економічний та екологічний спекти, адже ми для планування майбутнього маємо думати не лише про ціну рішення, а й про його екологічність для майбутніх поколінь.

1. Аналіз світових трендів та систем теплопостачання

1.1 Виклики для сучасної інфраструктури міст майбутнього

Світ змінюється дуже швидко і ці зміни торкнуться нас також. Вплив на всі аспекти світу надають мегатренди, які направляють нас у майбутнє.

Мегатренди – тенденції, які показують довгострокову перспективу і матимуть суттєвий вплив на людство. В них включені глобальні виклики та шляхи розвитку.

Діджиталізація (digitalization) - основний мегатренд, яка розвивається дуже стрімко. Сьогодні, до прикладу, в реаліях війни в Україні, це можна спостерігати майже у всіх сферах життєдіяльності. Діджиталізація змінює основи життєдіяльності людини. Інтелектуальні технології завойовують світ і є майже у всіх секторах:

- Керують будинками, системами інфраструктури та її складовими частинами;
- Забезпечують ефективну роботу обладнання, за рахунок контролю та диспетчеризації технологічного процесу.

Цифрові рішення «приймають участь» у плануванні об'єктів інфраструктури і мають важливий вплив в забезпеченні енергоефективності та правильного використання одного з основних ресурсів - енергії.

Електрифікація (electrification) - мегатренд, що все більше і більше змінює енергетичний сектор. Енергетичний перехід крок за кроком змінює уявлення про енергосистеми і сприйняття її секторів з лінійним розподілом - теплопостачання, газифікація тощо. Наше майбутнє - низьковуглецеві технології, а більшість з них має потребу в електричній енергії. Великі промислові теплові насоси в централізованому теплопостачанні збільшують попит на неї, і це дасть поштовх до збільшення доли поновлюваних джерел.

Постачання товарів (Food supply) - населення світу зростає і це збільшує попит на продукти харчування. Псування продуктів – це вплив на навколишнє середовище. Ось чому мегатренд тісно пов'язаний з наступними

- Урбанізацією і Змінами клімату. За даними ООН, харчові відходи продукують порядку 3 гігатонн викидів CO₂.

Зміни клімату (Climate Change) – постійне збільшення викидів спричиняє зміни навколишнього середовища. Більшість змін сталася за останні 40 років, це викликане збільшенням економічного росту особливо в розрізі виробництв з використанням викопного палива. Температура землі підіймається на 1 °C за останні 100 років, підвищився морський рівень, тануть льодовики. Для подолання цих викликів потрібні швидкі заходи.

Одним з них є виклик по декарбонізації виробництва енергії та покращення процесу транспортування і розумне споживання.

Як приклад, за даними з євростату за 2018 рік:

- 75% систем теплопостачання та охолодження в Європі використовують викопне паливо;

- 19% енергії виробляється з поновлюваних джерел.

Більше половина енергії іде на будівлі і промислові підприємства, а 79% цієї енергії - це опалення і гаряче водопостачання. Отже, для досягнення цілі - вуглецевої-нейтральності декарбонізація енергетичного сектора, а особливо теплопостачання є нагальним та актуальним і має високий пріоритет.

Урбанізація (Urbanisation) – наразі на Землі проживає більше 7 мільярдів. В містах проживатимуть 70%. Збільшення населення в міського вимагає розробки та покращення інфраструктури. Необхідно повинні звернути увагу на будівлі, які споживають більше 40% енергії.

Всі перелічені вище мегатренди, мають вплив на планування енергетичної інфраструктури.

1.2 Розвиток систем централізованого теплопостачання

Призначення системи теплопостачання полягає в тому, щоб надати необхідну кількість енергії відповідної якості.

На сьогодні визначені чотири покоління ЦТ (Рис. 1). Кожне демонструє суттєві зміни, які зазнали системи. Для розуміння як розвиватися Україні спочатку необхідно розглянути які ж є системи та зрозуміти, аде знаходимось

ми та визначати потім наступні витки розситку.

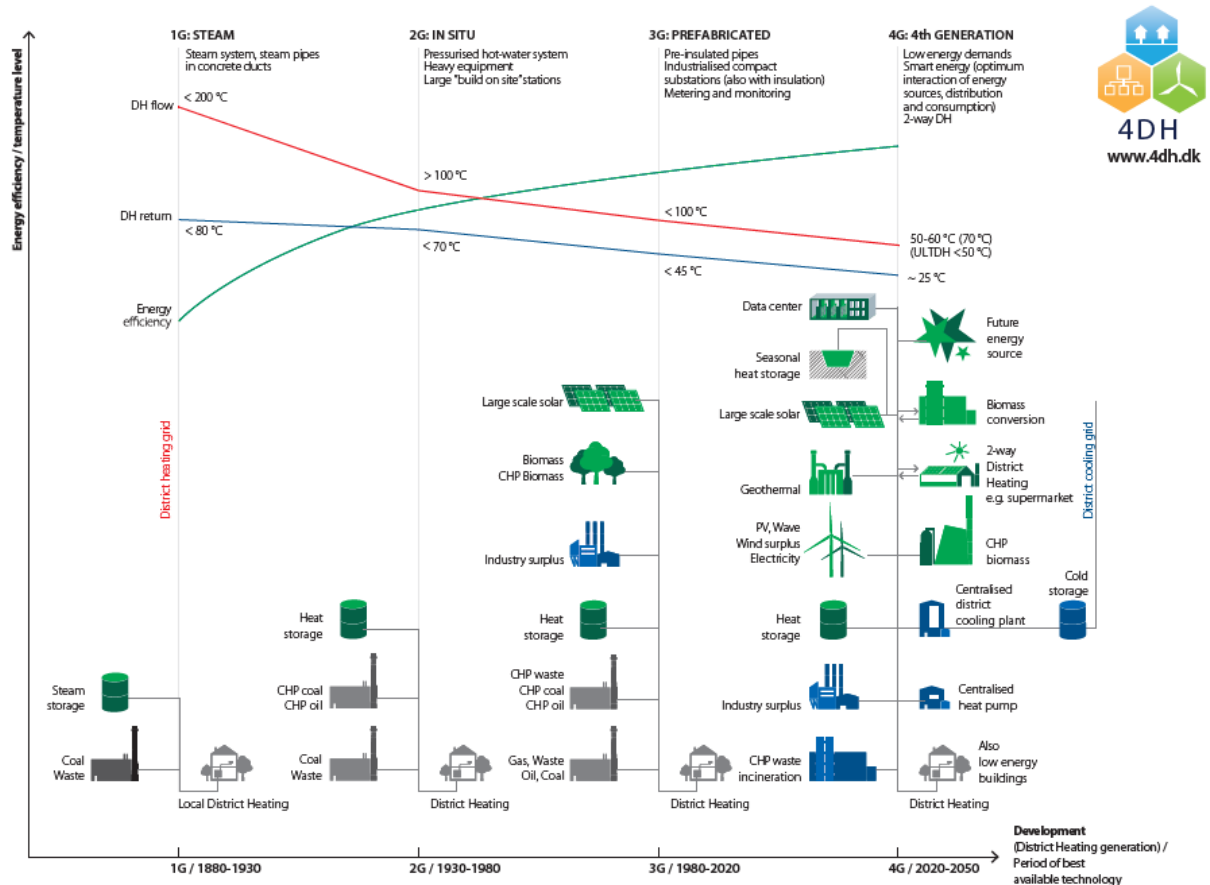


Рис 1. Системи ЦТ. За даними джерела: «Progression of District Heating - 1st to 4th generation» Aalborg University

Завжди люди намагались створити комфорт і тепло в своїх домівках, будь то печера, мазанка чи сучасні будинки. Отже, багаття, печі тощо - це прості джерела, які покращувались як в розрізі енергоефективності так і безпеки. До прикладу є згадки про геотермальну енергію в 14 столітті, в селі Шод-Ег у Франції, де виникла, як вважають, найперша система ЦТ і щось подібне до мережі розподільчої мережі. Також, аналогічний метод використовувався в Італії, в 1818 році, село Монтечерболі. Торговець Франческо Лардерель теж використав геотермальні для опалення.

Перше покоління.

Точкою відліку є системи ЦТ на пару в Сполучених Штатах Америки (до речі на сьогодні там залишилась система ЦТ на пару). Початком є парова система в Анаполісі 1853 року, для опалення корпусів морської академії.

Згодом, в 1878 році, така ж система запущена в штаті Нью-Йорк. Бердзіл Холлі спроектував і запровадив мережу, що підключалась до парового котла, в місті Локпорт. Там споживачами були малі міські підприємства, а також громадські (лікарні, адміністративні будівлі) і житлові будівлі. Далі поступово джерелами теплопостачання парові електростанції.

Недоліки – це непомірні теплові втрати та низька ефективність. Експлуатаційні витрати також забирали велику частку надходжень у були достатньо великі.

Друге покоління.

Це системи ЦТ, які поширені якраз на території України і колишніх країн Соціалістичного табору. Теплоносій - вода з температурою 100 °С і вище з температурними графіки в первинному контурі: 150 - 70 °С, 105 - 70 °С та ін.

Теплова мережа - сталеві не ізольовані трубопроводи в бетонних лотках з великими тепловтратами. Неефективні, в сучасних умовах джерела генерації, оскільки були дешеві енергоресурси і про енергозбереження на той час мало хто звертав увагу.

Третє покоління

Його називають ще «скандинавським», тому що розробники Скандинавські країни. Система складається з:

- трубопроводів - попередньо ізольованих;
- компактних теплових пунктів та пластинчатих теплообмінників;
- Джерела - різноманітним з використанням не лише викопного палива.

Набули поширення джерела на біомасі, використовують низькотемпературне тепло, сонячні станції та теплоаккумуляція.

Четверте покоління

Напрямок руху до четвертого покоління - це майбутнє систем ЦТ. Розвиток та зміни ЦТ, як частини енергосистеми зі збільшенням долі відновлювальних джерел для опалення і зменшення до мінімуму тепловтрат - це і є четверте покоління.

В системах четвертого покоління ця роль набуває все більшої і більшої

ваги, де частина джерел на 100% відновлювальній енергії (ВДЕ) збільшується. Тобто, ЦТ забезпечує зменшення втрат, що є при виробництві електропалива і дає доступ до великої кількості джерел, як приклад, геотермальна енергія, скидне тепло промисловості, спалювання відходів і виробництва електроенергії, тобто, може забезпечити інтеграцію з виробництвом електроенергії та опалення за рахунок ефективного використання, як приклад, когенераційних установок, теплових насосів тощо. Джерелами теж стають сонячні електростанції, а якщо додати та поєднати зі тепловими сховищами-акумуляторами теплової енергії, то можна досягти ще більшої ефективності джерел, а в додаток, великі та малі супермаркети – це також джерела теплової енергії як взимку так і влітку.

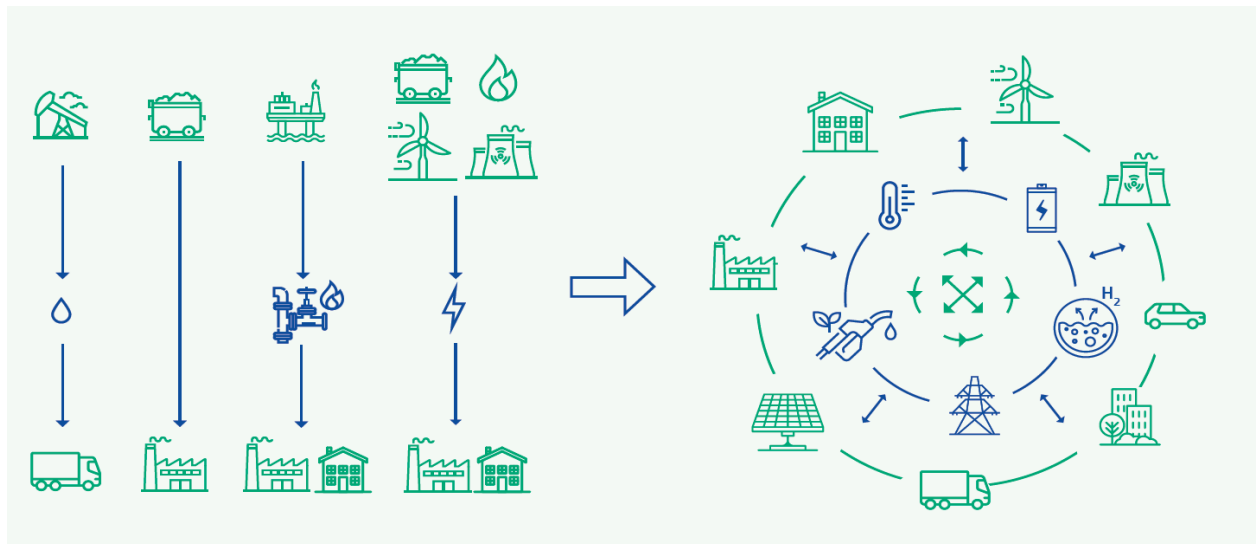


Рис. 2. Розділені та інтегровані джерела та зв'язок генерації і споживання. Джерело: «EU Energy System Integration Strategy»

1.3 Системи теплопостачання України.

Україні повільно іде до системи третього покоління. Що робиться - заміна труб в мережах на попередньо ізольовані, встановлення теплових пунктів, реконструкція котельень та розподільчих вузлів. Почали використовувати біомасу, низькопотенційне тепло, але нажаль не дуже ефективно та хаотично без системного підходу в вирішенні даного питання та за відсутності регулятивної політики зі сторони державних інституцій. Багато міст, не бажаючи нести додаткові витрати на реконструкцію джерел ЦТ ідуть

шляхом зовсім протилежним Європейському – знищенням ЦТ та переходом на індивідуальне опалення, що є хибним шляхом для майбутнього!

Централізоване теплопостачання - це забезпечення тепловою енергією споживачів, де виробництво відбувається централізовано і передається мережею трубопроводів.

Основні переваги:

- зменшення викидів CO₂;
- менше забруднення повітря – кращий стан здоров'я людей;
- підвищення ефективності до 90% за рахунок поєднання секторів генерації та різних джерел;
- використання регіональних джерел, як то стічних вод, водоєм і поновлюваних джерел енергії;
- зменшення споживання імпортного газу ;
- зменшення дотацій. Нові робочі місця;
- інтеграція джерел, наявних та майбутніх в одну систему, де в конкретний час використовується те джерело, яке є найбільш ефективним в даний проміжок часу .

Недоліки та виклики:

- капіталовкладення реконструкцію джерел та мереж;
- тепловтрати існуючі в старих системах;
- мале залучення держави в сектор відновлення ЦТ;
- облік споживання енергії та регулювання. Не у всіх споживачів встановлені прилади обліку;
- відсутність ринку тепла та монополії.

Основні види палива для генерації, за даними «Державної служби статистики України» 2017 рік, - це викопне паливо: природний газ та вугілля.

Джерела:

- Біомаса – виробляють порядка 7% ;
- ТЕЦ та Водогрійні котельні, де частка котельних складає 63,5%; (більше 60% котлоагрегатів застарілі, з низьким ККД).

Довжина тепломережі ~ 35830 км з великими тепловтаратами (~ 25%)

Технологічно – це ЦТ другого покоління

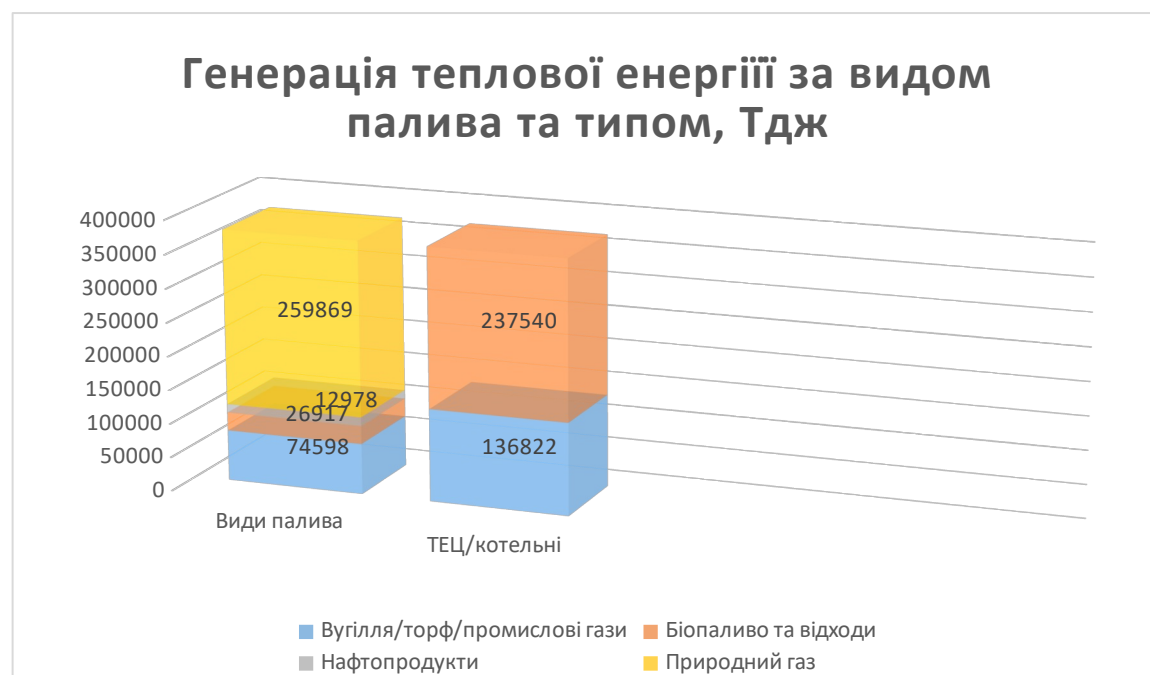


Рис. 3. Генерація теплової енергії.

За даними : Держстат України 2017 рік

Тобто, як ми бачимо Україна має неефективне обладнання для генерації, яке потребує заміни. Треба відзначити, що основним видом палива є газ і від цього ми не звільнимось ще багато років. Ми маємо розробляти та впроваджувати сучасні енергоефективні рішення для конкретного проекту виходячи з потенціалу та обмежень.

1.4 Аналіз доступних джерел енергії

В залежності від типу вибраного джерела, ми можемо їх поділити на :

- Індивідуальні, де кожне приміщення має своє джерело (індивідуальні котли, електроопалення);
- Децентралізовані, де джерело встановлюється біля кожної будівлі (групи будівель окремо);
- Централізовані, де є одне велике джерело, яке може знаходитися на значній відстані від споживачів і транспортування енергоносія відбувається по теплових мережах.

Найефективнішим та найекологічнішим варіантом теплопостачання

будівель в світі вважається централізоване. В Україні також є вимоги, за якими пріоритетним є централізоване теплопостачання і йому має надаватися перевага, якщо такий варіант є можливим і вже після цього розглядатися інші варіанти.

Самим неефективним варіантом є індивідуальне опалення, особливо при проектуванні багатоквартирних та комерційних будівель.

Щодо розповсюдженої думки, що найбільш пріоритетними для нас є джерела, які використовують біомасу як енергетичний матеріал, то в даному розрізі необхідно враховувати регіональні та кліматичні особливості, а також брати до уваги екологічний аспект.

При виборі системи теплопостачання будівель її слід розглядати через призму обмежень, які ми обов'язково будемо мати плануючи забудову в тому чи іншому місці країни. Як то клімат, доступність палива та наявних потужностей існуючих джерел системи теплопостачання.

В даній роботі далі будуть проаналізовані три варіанти джерел теплопостачання будівлі:

- централізоване на базі існуючої системи тепломереж та джерел (великих котелень);
- децентралізоване на газової котельної (енергоносій газ);
- децентралізоване на базі теплових насосів великої потужності.

2. Техніко-економічний та екологічний розрахунок джерел теплопостачання

2.1 Відомості про об'єкт дослідження

Генеральним планом проекту планується зведення багатоквартирних житлових багатоквартирних будинків (загальна площа ~ 7000 м²) та громадської будівлі (дитячого садочка), де теплове навантаження буде розподілятися на систему опалення та гарячого водопостачання.

Об'єкт будівництва знаходиться в північній частині України та периферійній частині міста Чернігова в віддаленості від централізованої мережі теплопостачання на відстані прядка 3000 метрів, де джерелом теплопостачання є застаріла квартальна газова котельня з необхідним запасом потужності для підключення запланованих будівель.

Підведена електромережа потужністю 10 МВт.

Середньорічна температура змінюється за графіком:

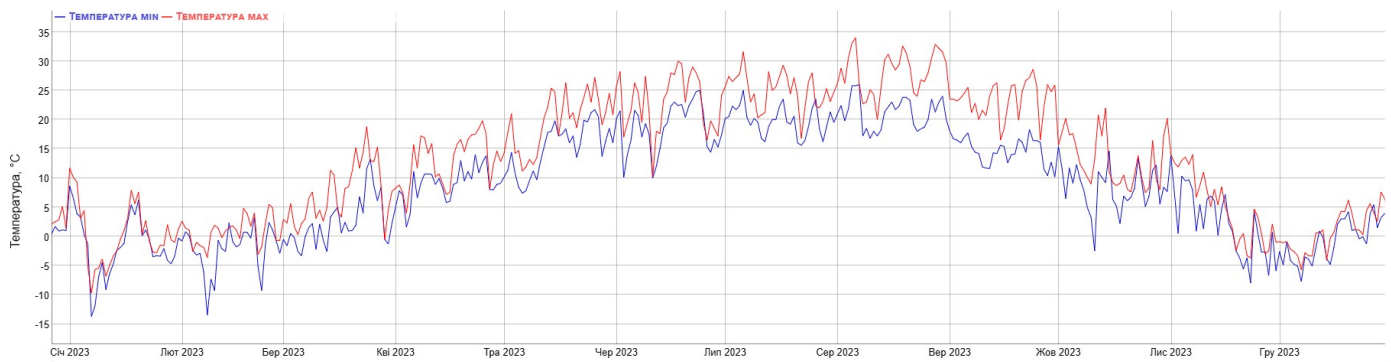


Рис. 4. Річний графік температури повітря за 2023 рік

За даними Джерела: <https://meteopost.com/weather/climate/year/>

Отже, як ми бачимо з рисунку мінімальна річна температури за 2023 рік не перевищує -20 °C , а середньозимова температура коливається на рівні $0 \dots -6$ °C.

Основне обладнання підбирається на максимальні навантаження наведені в таблиці 1.

Розрахункові максимальні навантаження об'єкту :

Таблиця 1

Теплове навантаження об'єкту

Тип будівлі	Потужність опалення, МВт	Потужність системи ГВП, МВт	Загалом, МВт
Житлові будівлі	2,3	2,6	4,9
Дитячий садок	0,15	0,13	0,28
Загалом , МВт			5,18

2.2 Розрахунок максимальних та оптимальних навантажень

Для розрахунку викидів CO₂ та споживання енергоносіїв використовують середньосезонні навантаження.

Розрахуємо навантаження на джерело для трьох режимів споживання об'єкту :

- максимальний, для максимальної нормованої температури опалювального періоду при $T_{з\text{овн макс}} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$
- середньосезонний режиму роботи, для середньої нормованої температури опалювального періоду для заданого регіону при $T_{з\text{овн сер}} = -6\text{ }^{\circ}\text{C}$
- літнього періоду, коли система опалення не працює, а працює лише система ГВП

2.2.1 Розрахунок системи опалення.

Теплове середньосезонне навантаження системи опалення системи розраховується за формулою :

$$Q_{сер.co} = Q_{макс} \frac{co * T_{вн} - T_{сер.розр}}{T_{вн} - T_{з\text{овн макс}}}$$

$$Q_{сер.со} = \frac{2,45 * 22 - (-6)}{22 - (-22)} = 1,56 \text{ МВт}$$

Де:

- $Q_{сер.со}$ – середньосезонне навантаження системи опалення
- $Q_{макс.со}$ – максимально розрахункове навантаження системи опалення
- $T_{вн}$ – Розрахункова температура повітря всередині приміщення (береться згідно ДБН В25-67:2013 «Опалення вентиляція та кондиціонування»)
- $T_{сер.розр}$ – середня температура на зимовий період для кліматичної зони об'єкту будівництва (береться згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2012 «Будівельна кліматологія»)
- $T_{зовн.макс}$ - Розрахункова температура зовнішнього повітря (береться згідно ДБН В25-67:2013 «Опалення вентиляція та кондиціонування»)

Загальне річне споживання системою опалення розраховують за формулою :

$$Q_{сер.оп} = Q_{сер.со} * n$$

Де,

- n - середньосезонна кількість годин роботи джерела

$$n = 24 * 30 * 6 = 4320$$

Отже, загальна споживана річна потужність системи опалення буде складати:

$$Q_{сер.со} = 1,56 * 4320 = 6739,2 \text{ МВт*год}$$

2.2.2 Розрахунок системи ГВП

Розрахунок середньосезонного значення навантаження на систему ГВП проводять виходячи з коефіцієнта одночасності (згідно ДБН він знаходиться в межах 0,1...0,4):

$$Q \text{ сер. гвп зм} = Q \text{ макс гвп} * K \text{ одн}$$

$$Q \text{ сер. гвп зп} = 2,73 * 0,4 = 1.1 \text{ МВт},$$

де

- $Q \text{ сер. гвп зм}$ – середньосезонне навантаження системи ГВП в зимовий період;
- $Q \text{ сер. гвп}$ – середньосезонне навантаження системи ГВП;
- $Q \text{ сер. гвп}$ – максимально розрахункове навантаження системи ГВП;
- $K \text{ одн}$ - коефіцієнт одночасності (береться згідно «ДБН В.2.5-64:2012 "Внутрішній водопровід та каналізація»);

Для розрахунку навантаження на систему ГВП в літній період використовуємо літній коефіцієнт $\beta = 0,8$:

$$Q \text{ сер. гвп лт} = Q \text{ макс гвп} * K \text{ одн} * \beta$$

$$Q \text{ сер. гвп лт} = 2,73 * 0,4 * 0,8 = 0,87 \text{ МВт}$$

Загальне річне споживання системою ГВП становить :

$$Q \text{ сер. гвп} = (Q \text{ сер. гвп лт} + Q \text{ сер. гвп зп}) * n,$$

де

- n - середньосезонна кількість годин роботи джерела

$$n = 24 * 30 * 6 = 4320$$

Отже, загальна споживана річна потужність системи ГВП буде складати:

$$Q \text{ сер. гвп} = (1,1 + 0,87) * 4320 = 8510,4 \text{ МВт*год}$$

2.2.3 Розрахунок загального річного споживання

Загальне середнє споживання системи розраховується як сума

навантаження системи опалення та ГВП:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{сер со}} + Q_{\text{сер. гвп}}$$

$$Q_{\text{заг}} = 6\,739,2 + 8\,510,4 = 15\,249,60 \text{ МВт*год}$$

Зведемо розрахункові дані в загальну таблицю 2 :

Таблиця 2

Розрахункові навантаження системи по розрахунковим періодам

Показник	Розрахункові періоди		
	Макс розрахункова	Середня	Літній період
Температура Тзовн	-22	- 6	
Навантаження, МВт*год:	10 584,00	6 739,20	
- Опалення	11 793,60	4 752,00	3 758,40
- ГВП			
Загальне споживання, МВт*год	22 377,60	11 491,20	3 758,40
Сумарне середньорічне споживання, МВт*год		15 249,60	

3. Розрахунок технічних рішень, вибір основного обладнання та розрахунок техніко-економічних і екологічних показників

3.1. Газова прибудована котельня

Як технічне рішення для джерела тепlopостачання розглядаємо модульну прибудовану котельню. Обладнання має мати заводське виконання, монтуватися біля об'єкту на підготовлений фундамент.

Для введення в експлуатацію необхідно приєднання до мережі газопостачання та до теплової мережі об'єкту, яка буде з'єднувати котельню з індивідуальними тепловими пунктами в будівлях та системою опалення та ГВП будівель.

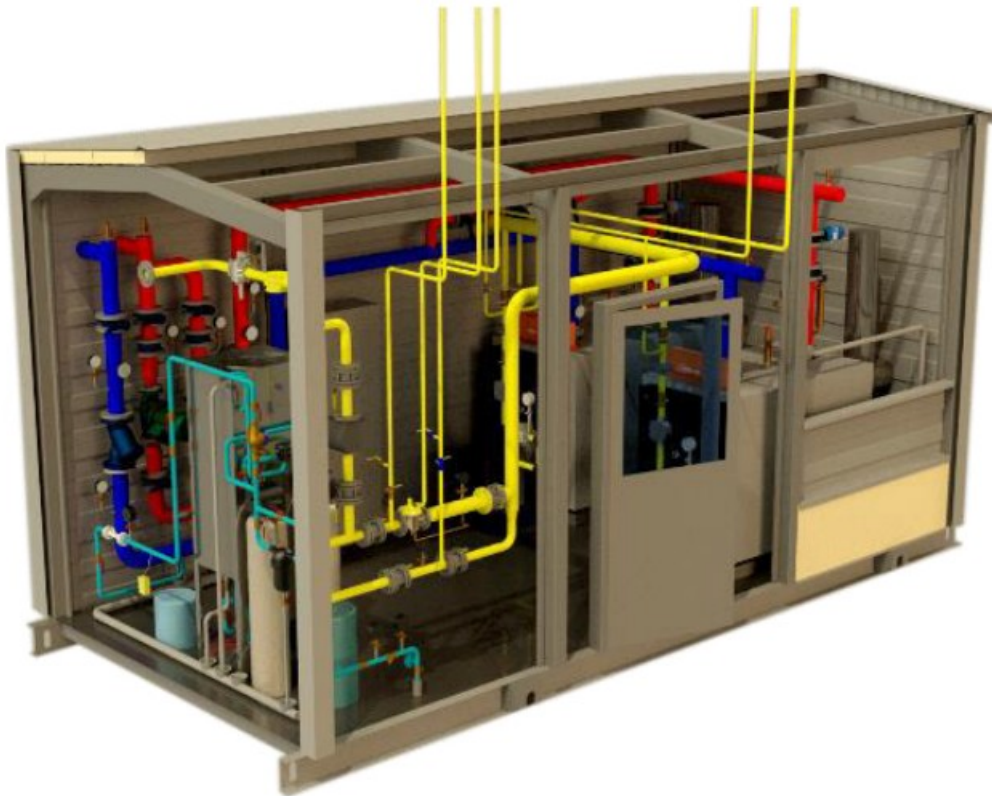


Рис. 5. Загальний вид прибудованої модульної котельної.

Джерело: <https://www.viessmann.ua/uk/rishennya/komertsiyno-promyslovyy/vodohrijni-transportabelni-kotelni/vitomodul-do-4000-kw.html>

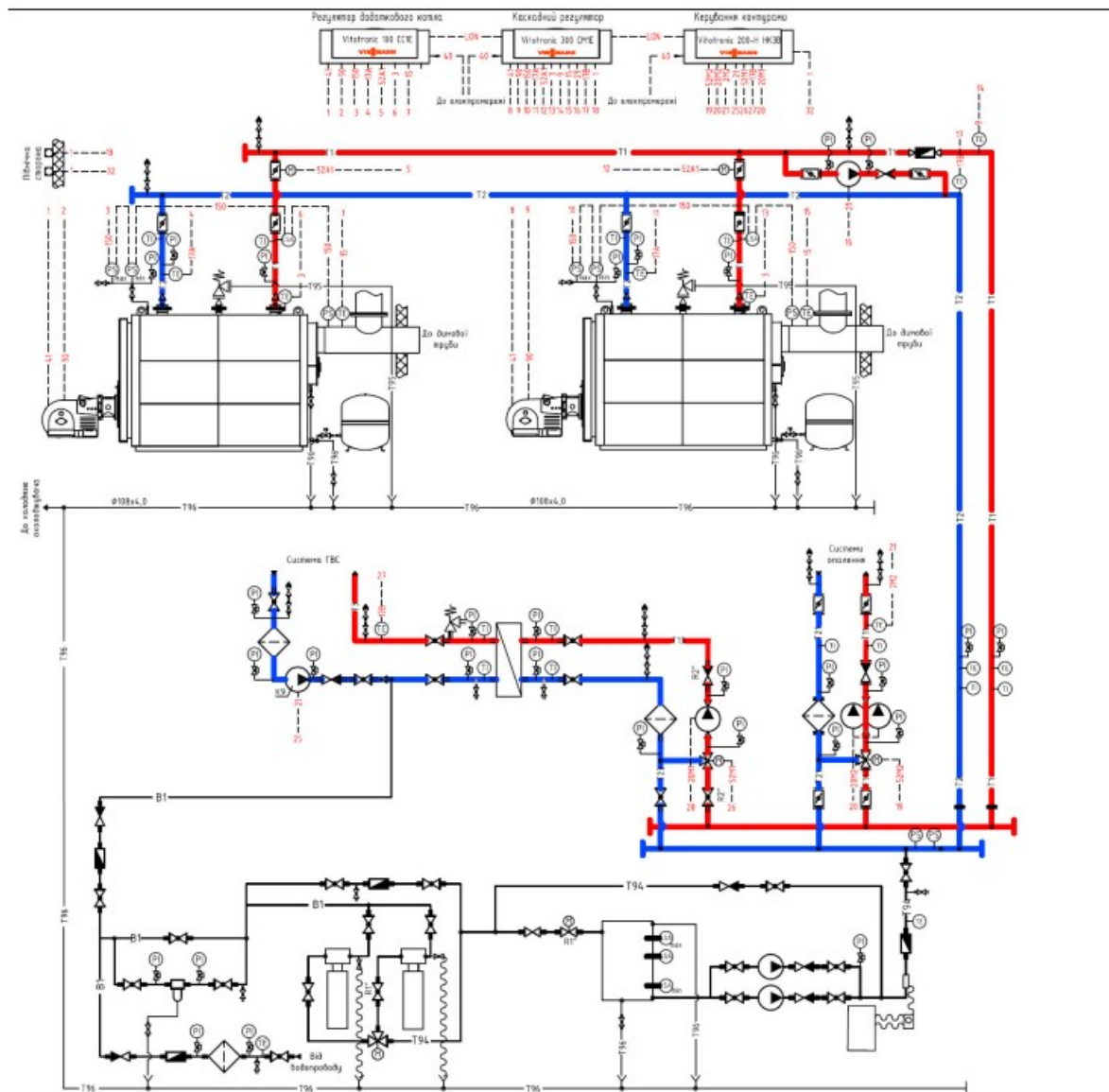


Рис. 6. Теплова схема котельної.

За даними джерела:

<https://www.viessmann.ua/uk/rishennya/komertsiyno-promyslovy/vodohrijni-transportabelni-kotelni/vitomodul-do-4000-kw.html>

На рисунку 6 показано два котельні агрегати, але за необхідності їх може бути і більше. Розрахунком буде визначено необхідну кількість котлів в модульній котельні, які будуть паралельно та працювати в каскаді забезпечуючи найбільш ефективно використання енергоресурсів.

Загальне обладнання вибирається на максимально розрахункову потужність споживання об'єкту будівництва при температурі зовнішнього повітря $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ та розрахунковій температурі в приміщеннях $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Отже, для розрахунку необхідної нам необхідно підібрати котельне обладнання на максимальну потужність системи опалення 2,45 МВт*год та системи ГВП 2,73 МВт*год.

Прийняте рішення розділити ці 2 системи окремо та використовувати одну модульну котельню для системи ГВП і одну для системи опалення.

Згідно технічної літератури на сайті компанії Viessmann для системи ГВП вибираємо модульну котельню VITOMODUL 2700 - O – П – ТУ У 28.2-30724898-001:2006.

Згідно технічної літератури на сайті компанії Viessmann для системи ГВП вибираємо модульну котельню VITOMODUL 2700 - O – П – ТУ У 28.2-30724898-001:2006 на двоконтурних котлах VITOPLEX 200 SX2A.

Таблиця 3

Технічні характеристики модульної котельні VITOMODUL

Тип котлів	VITOPLEX 200 SX2A
Кількість котлів	2
Тип горілки	EK EVO 6.2400 G-E
Номінальна теплова потужність, кВт	2 826
Витрата газу, нм ³ / год	397,1
ККД котлоагрегатів,%	92

3.1.1 Розрахунок економічної складової технічного рішення.

Розрахунок капітальних витрат (рахуємо по основному обладнанню) при встановленні даних агрегатів на об'єкті будівництва:

Вартість 1 модульної котельної складає - 12 500 000 грн.

Загальна вартість - 25 000 000 грн.

Транспортування включене в вартість обладнання.

Отже , загальна вартість капітальних витрат буде складати 25 000 000 грн.

3.1.2 Визначення споживання енергоносіїв (природний газ)

Загальну кількість споживання природного газу розраховують за формулою:

$$V_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{сер}}}{\eta * Q_{\text{газу}}}$$

де

- $V_{\text{газ}}$ — споживання газу (м³/год),
- $Q_{\text{сер}}$ — теплова потужність котельні (кВт),
- η — ККД котла (92% = 0.92),
- $Q_{\text{газу}}$ — теплота згоряння газу (34 МДж/м³=9.44 кВт*год).

Розраховуємо споживання газу в зимовий період:

$$V_{\text{газу зп}} = \frac{(Q_{\text{сер. зп}} + Q_{\text{сер. со}})}{\eta * Q_{\text{газу}}}$$
$$V_{\text{газу}} = \frac{(11\,491,20 * 1000)}{0,92 * 9,44} = 1\,323\,139 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Розраховуємо споживання газу в зимовий період:

$$V_{\text{газу лп}} = \frac{(Q_{\text{сер. лп}})}{\eta * Q_{\text{газу}}}$$
$$V_{\text{газу лп}} = \frac{(3758,40 * 1000)}{0,92 * 9,44} = 432\,756 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Розраховуємо річне споживання природного газу:

$$V_{\text{газу}} = V_{\text{газу зп}} + V_{\text{газу лп}}$$

$$V_{\text{газу}} = 1\,323\,139 + 432\,756,08 = 1\,755\,895 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Розраховуємо річні витрати на закупівлю газу.

Річні витрати на споживання газу, при вартості газу за цінами від

"Нафтогаз України" для теплопостачальних організацій становить прилизоно 18 200 грн за 1000 м³, або 18,2 грн за 1 м³ становлять:

$$\text{Витрати} = 1\,755\,895 * 18,2 = 31\,957\,289 \text{ грн/рік}$$

Розраховуємо вартість виробництва 1МВт теплової енергії:

$$\text{Вартість 1 МВт * год те} = \frac{31\,957\,295,55}{15\,249,60} = 2\,095,61 \text{ грн}$$

Як показують розрахунки, додатково ми маємо і невикористану потужність котельної, яку ми можемо відавати в теплову мережу на опалення та ГВП сусідніх споживачів в майбутньому.

Розраховуємо наявну потенційну невикористану потужність в зимовий період:

$$\begin{aligned} Q_{\text{сер зм невик}} &= 22\,377,60 - 11\,491,20 = \\ &= 10\,886,4 \text{ МВт*год/рік} \end{aligned}$$

Розраховуємо наявну потенційну невикористану потужність в літній період:

$$\begin{aligned} Q_{\text{сер лт невик}} &= 22\,377,60 - 3\,758,40 = \\ &= 18\,619,2 \text{ МВт*год/рік} \end{aligned}$$

Загальна невикористана потужність складає:

$$Q_{\text{сер невик}} = 10\,886,4 + 18\,619,2 = 29\,505,6 \text{ МВт*год/рік}$$

Додаткові потенційні надходження при вартості 1 МВт*год теплової енергії 1374 грн будуть складати :

$$\begin{aligned} \text{Надходження з невикористаних потужностей} &= \\ &= 1374 * 29\,505,6 = 40\,540\,694,40 \text{ грн рік} \end{aligned}$$

Експлуатаційні витрати на газ, при його вартості приблизно 18 200 грн за 1000 м³, або 18,2 грн за 1 м³ будуть складати:

$$V_{\text{газу}} = \frac{(29505,6 * 1000)}{0,92 * 9,44} = 3\,397\,384 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Витрати на закупівлю газу = 3 397 384 * 18,2 = 61 832 389 грн

Тобто ми потенційно можемо мати додатковий річний дохід/втрати:

Втрати = 40 540 694,40 грн - 61 832 388,8 грн = **-21 291 694 грн**

3.1.3 Екологічний аспект. Розрахунок викидів CO₂ в атмосферу.

Для розрахунку шкоди, екологічного впливу необхідно розрахувати викиди вуглекислого газу в атмосферу при виробництві необхідної кількості теплової енергії для забезпечення функціонування об'єкту.

Розраховуємо викиди CO₂ в атмосферу при спалюванні природного газу за формулою:

$$E_{\text{CO}_2} = V_{\text{газу}} * \text{Викиди CO}_2 \text{ на } 1 \text{ м}^3,$$

де

- Викиди CO₂ на 1 м³ орієнтовно становлять для природного газу 1,9 кг CO₂ на 1 м³

$$E_{\text{CO}_2} = 1755895,36 * 1,9 = 3\,336\,201,18 \text{ кг CO}_2$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 4.

Таблиця 4

Загальні економіко екологічні показники (Варіант 1)

Вартість основного обладнання, грн	25 000 000
Річне споживання природного газу, м ³	1755895,36
Річні витрати на газ, грн	31 957 295,55
Вартість виробництва 1 МВт*год теплової енергії, грн	2 095,61
Річні викиди CO ₂ , кг	3 336 201,18
Потенційні додаткові надходження, грн	-21 291 694,4

3.2 Підключення до системи ЦТ (джерело існуюча квартальна котельня)

Централізованого теплопостачання (ЦТ) — це система, яка виробляє та транспортує теплову енергію від джерела до споживачів на потреби опалення та гарячого водопостачання об'єктів.

Централізоване теплопостачання є одним з основних технічних рішень для забезпечення тепловою енергією споживачів в містах України, де вона не була зруйнована.

Як раніше було згадано вона має наступні основні компоненти:

- джерело: теплоелектроцентралі (ТЕЦ) або великі котельні для генерації теплової енергії;
- мережі: трубопроводи, для постачання теплоносія від джерела до споживача.

Недоліки:

- Високі капітальні витрати: будівництво та обслуговування тепломереж потребує значних інвестицій;
- Втрати тепла: під час транспортування теплоносія можуть виникати втрати через неякісну ізоляцію труб.

В розрізі даного проекту для підключення до існуючої централізованої системи опалення, де джерелом є велика котельня, необхідно прорахувати прокладання магістральних трубопроводів, які знаходяться на відстані 3 000 метрів від об'єкту будівництва.

Трубопроводи.

З кожним роком прокладаються комунікації стають все надійнішими, тому що для монтажу трубопроводів використовуються матеріали з більш високими технічними характеристиками. Сучасні труби для теплопровідних трас - це не звичайні вироби з металу.

Сталеві труби тепер «одягнені» у спінену поліуретанову ізоляцію. Це дозволяє зберігати високу температуру носіїв, забезпечує надійний захист трубах від негативного впливу зовнішнього середовища, від механічних

пошкоджень і деформацій.

Труби та елементи попередньо теплоізовані для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж спіненим поліуретаном

Для прокладання мереж вибираємо попередньоізовані сталеві труби виробника – Трубна компанія «Фаворит», які відповідають вимогам ДСТУ Б В. 2.5-31:2007

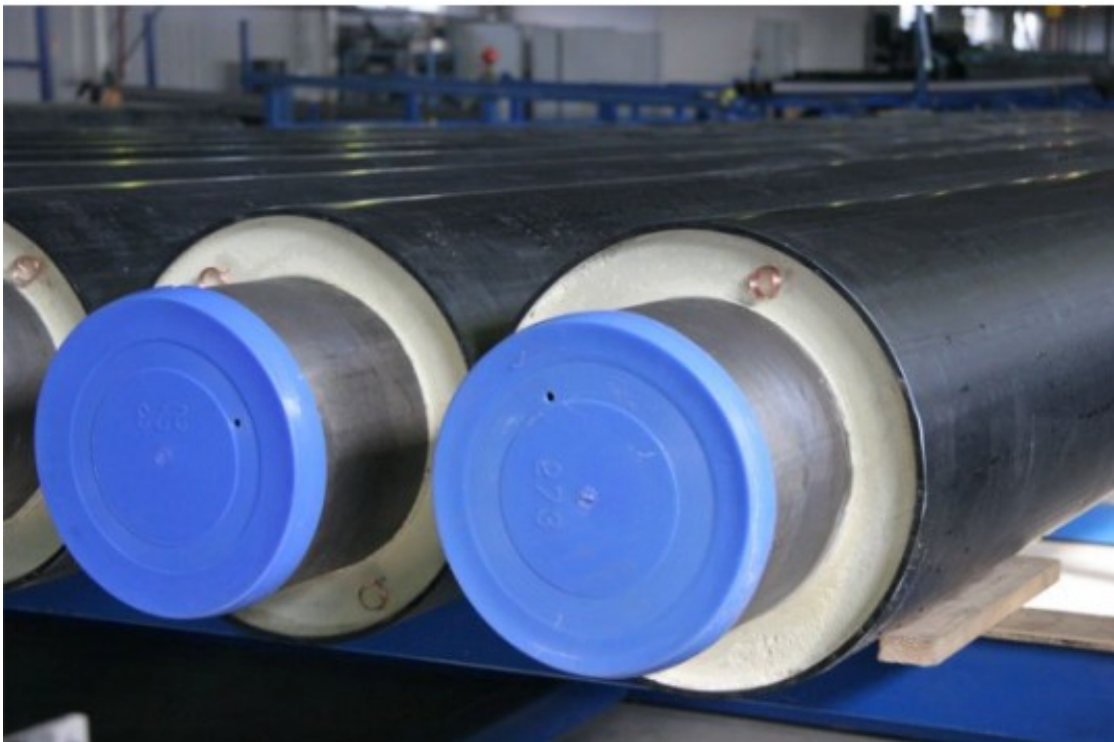


Рис. 7. Попередньоізовані трубопроводи «Фаворит»

Джерело <https://trubu.com.ua/ua/>

Основні характеристики:

- труби та елементи попередньо теплоізовані для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж спіненим поліуретаном.
- відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.5-31: 2007 «Трубопроводи попередньо теплоізовані спіненим поліуретаном для мереж гарячого водопостачання та теплових мереж. Труби, фасонні вироби і арматура. Технічні умови».
- температура теплоносія + 140 ° С (150 ° С) максимальний робочий тиск не більше 1,6 МПа.

Високі експлуатаційні параметри труби та фасонних виробів дозволяють забезпечити:

- втрати тепла при транспортуванні до 1,5-2%;
- термін експлуатації теплотраси 30-40 років;
- зменшення капітальних витрат на 15-20%, експлуатаційних - в 9 разів, ремонтних - в 3 рази;
- зменшується часу прокладання в 3-4 рази

3.2.1 Розрахунок трубопроводів

Для розрахунку ми прораховуємо необхідну витрату теплоносія та діаметри трубопроводів для забезпечення даним теплоносієм споживачів в достатній кількості .

Розраховуємо необхідну витрату теплоносія G для забезпечення споживачів за формулою:

$$v = \frac{G}{\rho}$$

$$V = \frac{5,18 \cdot 1000}{4,186 \cdot 20} = 0,06781 \text{ м}^3/\text{с}$$

Де:

- Q макс- розрахункова максимальне споживання будівель
- c — теплоємність води ($c = 4.186 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot ^\circ\text{C})$)
- ΔT — температурний перепад (згідно температурного графіка джерела 90/70)
- ρ - густина води ($\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$)

Розраховуємо діаметр трубопроводів D розподільчої мережі за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.06187}{3.14 \cdot 1}} = 0.281 \text{ м},$$

де,

v - середня швидкість води в трубі (типово $v = 1 \text{ м}/\text{с}$).

Отже, необхідний діаметр трубопроводу 281 мм . За таблицею типорозмірів вибираємо найближчий - DN 300

В відповідності до типорозмірів трубопроводів, які представлені на сайті виробника вибираємо типорозмір труби, яка забезпечить транспортування необхідної кількості теплоносія до споживача.

Виготовлені згідно ДСТУ Б В. 2.5-31:2007 Ціни у гривнях з ПДВ дійсні з 31.01.2024 р.

Типорозмір	Труба пряма грн./м.п.	Коліно грн./шт.	Компенсатор сильфонний грн./шт.	Опора нерухома грн./шт.
32/90	771,88	1 661,98	—	4 421,10
38/110	969,85	1 984,51	—	5 382,83
45/110	994,09	2 537,88	56 319,66	5 700,51
57/125	1 188,13	3 108,78	57 625,91	7 116,60
76/140	1 479,01	3 724,34	61 243,22	7 928,27
89/160	1 810,37	4 484,51	69 934,85	10 116,00
108/200	2 384,27	6 431,92	73 652,61	12 358,72
133/225	3 096,35	9 097,92	94 251,25	15 395,37
159/250	3 856,53	10 481,75	97 768,09	19 006,69
219/315	6 623,40	17 125,49	160 727,89	29 287,33
273/400	9 721,79	26 758,55	188 912,85	39 375,01
325/450	12 512,25	33 027,68	209 109,55	51 149,16
377/500	17 489,03	44 846,53	279 169,94	74 956,90
426/560	16 666,78	61 254,12	308 451,84	92 497,96
478/630	19 801,31	67 966,70	319 153,05	108 196,85
530/710	28 610,90	97 936,30	441 907,48	146 990,17
630/800	35 070,86	183 181,37	481 153,68	183 554,23
720/900	43 161,74	447 596,38	544 507,76	222 160,63
820/1000	47 135,09	570 186,48	656 267,12	261 968,57
920/1100	60 776,77	769 160,73	591 336,86	318 276,35

Рис. 8. Номенклатура трубопроводів.

Джерело https://trubu.com.ua/image/data/prices/teplo_p.pdf

Отже, згідно розрахунків вибираємо типорозмір сталеві попередньо ізольованої труби - 325/450

Оскільки тепловтрати. Згідно технічних характеристик мінімальні, для визначення економічної складової ними нехтуємо.

3.2.2 Розрахунок економічної складової технічного рішення.

Розрахунок капітальних витрат (рахуємо по основному обладнанню) для прокладання теплової мережі до об'єкту будівництва, за даними від виконавців робіт та ціником виробника :

Вартість робіт прокладання трубопроводів;

Загальна вартість труб;

Транспортування включене в вартість обладнання.

Отже, загальна вартість капітальних витрат буде складати 62 000 000 грн.

3.2.3 Визначення споживання енергоносіїв (природний газ)

Загальну кількість споживання природного газу розраховують за формулою:

$$V_{\text{газ}} = \frac{Q_{\text{сер}}}{\eta * Q_{\text{газу}}}$$

Де,

- $V_{\text{газ}}$ — споживання газу (м³/год),
- $Q_{\text{сер}}$ — теплова потужність котельні (кВт),
- η — ККД котла (оскільки обладнання в котельні не сучасне, то ККД = 70% = 0.7),
- $Q_{\text{газу}}$ — теплота згоряння газу (34 МДж/м³ = 9.44 кВт*год/ м³)

Розраховуємо споживання газу в зимовий період:

$$V_{\text{газу зп}} = \frac{(Q_{\text{сер. зп}} + Q_{\text{сер. со}})}{\eta * Q_{\text{газу}}}$$

$$V_{\text{газу}} = \frac{(11\,491,20 * 1000)}{0,7 * 9,44} = 1738983,05 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Розраховуємо споживання газу в зимовий період:

$$V_{\text{газу лп}} = \frac{(Q_{\text{сер. зп лп}})}{\eta * Q_{\text{газу}}}$$

$$V_{\text{газу лп}} = \frac{(3758,40 * 1000)}{0,7 * 9,44} = 568765,13 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Загальнорічне споживання газу становить :

$$V_{\text{газу}} = V_{\text{газу зп}} + V_{\text{газу лп}}$$

$$V_{\text{газу}} = 1738983,05 + 568765,13 = 2307748,18 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Розраховуємо річні витрати на споживання газу, при вартості газу за цінами від "Нафтогаз України" для тепlopостачальних організацій становить приблизно 18 200 грн за 1000 м³, або 18,2 грн за 1 м³ які будуть становити :

$$\text{Витрати} = 2\,307\,748,18 * 18,2 = 42\,001\,016,88 \text{ грн}$$

Розраховуємо вартість виробництва 1МВт*год теплової енергії:

$$\text{Вартість } 1 \text{ МВт} * \text{год те} = \frac{42001016,88}{15249,60} = 2754,24 \text{ грн}$$

3.2.4 Екологічний аспект. Розрахунок викидів CO₂ в атмосферу.

Для розрахунку шкоди, екологічного впливу необхідно розрахувати викиди вуглекислого газу в атмосферу при виробництві необхідної кількості теплової енергії для забезпечення функціонування об'єкту.

Розраховуємо викиди CO₂ в атмосферу при спалюванні природного газу за формулою:

$$E_{CO_2} = V_{\text{газу}} * \text{Викиди CO}_2 \text{ на } 1 \text{ м}^3$$

де викиди CO₂ на 1 м³ ≈ становлять для природного газу 1,9 кг CO₂ на 1м³

$$E_{CO_2} = 2307748,18 * 1,9 = 4384721,54 \text{ кг CO}_2$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 5.

Таблиця 5

Загальні економіко-екологічні показники (Варіант 2)

Вартість основного обладнання труба, грн	60 000 000
Вартість робіт, грн	2 000 000
Річне споживання природного газу, м ³	2307748,18
Річні витрати на газ, грн	42 001 016,88
Вартість виробництва 1МВт теплової енергії, грн	2 754,24
Річні викиди CO ₂ , кг	4 384 721,54

3.3 Промисловий тепловий насос

В умовах сьогодення, основне питання – це проблема енергозбереження та забруднення навколишнього середовища, а отже, технічні рішення з використанням теплових насосів набувають все більшої актуальності. Вони дають можливість більш ефективно виробляти теплову енергію для систем гарячого водопостачання та опалення та дають можливість суттєво знизити витрати і мають мінімальний вплив на навколишнє середовище

Основною перевага це значна енергоефективність та мінімальні викиди CO₂ в атмосферу.

Основні типи теплових насосів:

- Повітря-вода
- Грунт-вода
- Вода-вода

Враховуючи, що проект забудови знаходиться в місті, то ми маємо наступні обмеження:

- Обмежена територія для розміщення необхідної кількості геотермальних зондів та потребує суттєвих інвестицій.
- Немає поблизу водойм, ґрунтових вод, каналізаційних трубопроводів з яких можливо брати низькопотенційне тепло.

То як основне технічне рішення вибираємо технологія «повітря-вода». Дані теплові насоси використовують тепло з повітря і є одними з розповсюджених для використання. В додаток вони мають найменші капітальні витрати , а сучасні технологія дозволяють при температурі навколишнього середовища -22 °С отримувати на виході теплоносій температурою до 85 22 °С, що , в сучасних системах опалення, є достатнім для систем опалення та гарячого водопостачання.

Для забезпечення тепловою енергією будівлі розглянемо лінійку виробника **Advansor**

Advansor – це провідний виробник CO₂ теплових насосів та холодильних систем. Компанія спеціалізується на розробці та виробництві екологічно чистих рішень для опалення, охолодження та кондиціонування повітря, використовуючи природний холодоагент CO₂ (R744). Advansor відома своїми інноваційними технологіями та високою якістю продукції.

Принцип дії теплових насосів Advansor CO₂ Heat Pumps – Air-Water

Теплові насоси типу "повітря-вода" працюють за принципом перенесення тепла з навколишнього повітря до води, яка використовується для опалення або гарячого водопостачання. Ось основні етапи цього процесу:

Випаровування:

Холодоагент CO₂ у рідкому стані проходить через випарник, де він поглинає тепло з навколишнього повітря. Це тепло змушує холодоагент випаровуватися, перетворюючи його на газ.

Компресія:

Газоподібний холодоагент потрапляє в компресор, де його тиск і температура підвищуються. Компресори Advansor використовують безмасляні магнітні підшипники та постійні магнітні двигуни для забезпечення високої ефективності та надійності.

Конденсація:

Гарячий газоподібний холодоагент проходить через конденсатор, де він віддає тепло воді, яка циркулює в системі опалення або гарячого водопостачання. В результаті цього процесу холодоагент конденсується, перетворюючись знову на рідину.

Розширення:

Рідкий холодоагент проходить через розширювальний клапан, де його тиск знижується перед тим, як він знову потрапить у випарник. Цей цикл повторюється знову і знову.

Основні компоненти:

Компресор: Стискає холодоагент, підвищуючи його температуру та тиск.

Випарник: Поглинає тепло з навколишнього повітря, перетворюючи холодоагент на газ.

Конденсатор: Віддає тепло воді, перетворюючи холодоагент на рідину.

Розширювальний клапан: Знижує тиск холодоагенту перед його повторним входом у випарник.

Циркуляційні насоси: Забезпечують рух води через систему, передаючи тепло від конденсатора до кінцевих споживачів

Цей принцип дії дозволяє тепловим насосам Advansor ефективно використовувати тепло з навколишнього середовища для опалення та гарячого водопостачання, забезпечуючи високу енергоефективність та екологічність.

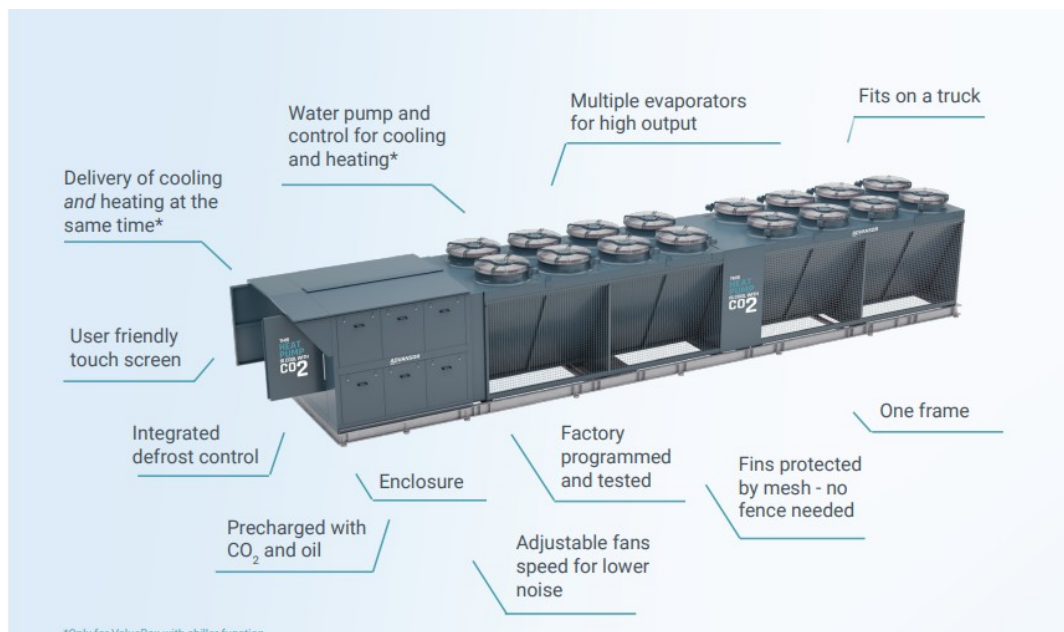


Рис.9 . Тепловий насос тип ValueBox

Джерело: Сайт Advansor (<https://www.advansor.com/product/valuebox>)

3.3.1 Вибір теплового насосу

З лінійки можливих варіантів , які є на сайті виробника ([Advansor - Sustainable CO2 climate solutions](https://www.advansor.com/product/valuebox)), вибираємо найбільш оптимальний варіант за таблицею :

CAPACITY & EFFICIENCY		Heating*											
		-20°C		-12°C		-7°C		+2°C		+7°C		+12°C	
Model	Item number	kW	COP	kW	COP	kW	COP	kW	COP	kW	COP	kW	COP
ValueBox 250	5020000	196	1,79	224	2,05	242	2,22	281	2,58	306	2,8	330	3,03
	5020001	216	1,89	244	2,14	263	2,32	306	2,69	213	2,39	234	2,6
ValueBox 400	5020100	202	1,85	224	2,05	242	2,22	281	2,58	306	2,8	330	3,03
	5020101	201	1,77	233	2,04	252	2,22	293	2,58	320	2,8	346	3,04
	5020102	220	1,86	244	2,06	263	2,23	306	2,58	332	2,8	360	3,04
ValueBox 500	5020200	279	1,85	314	2,09	340	2,26	394	2,62	428	2,85	466	3,09
	5020201	291	1,88	327	2,11	355	2,28	411	2,65	446	2,88	488	3,14
	5020202	308	1,93	340	2,13	368	2,31	428	2,68	523	3	510	3,19
ValueBox 600	5020300	431	1,92	488	2,12	525	2,29	607	2,63	659	2,86	717	3,11
	5020301	432	1,91	508	2,16	547	2,33	629	2,69	686	2,93	698	3,2
	5020302	446	1,88	508	2,12	547	2,29	629	2,63	686	2,87	699	3,14

*Conditions: +40°C water inlet temperature/+80°C water outlet temperature, Δt = 7,5 K

Рис. 10. Типорозміри теплових насосів Advansor

Джерело: Сайт Advansor (<https://www.advansor.com/product/valuebox>)

Для нашої задачі вибираємо найбільш оптимальний варіант - ValueBox 600 (№ 50200302) , який має наступні характеристики :

Таблиця 6

Характеристики обладнання

Параметр	Температура зовнішнього середовища, °С		
	-20°С	-7°С	Літній
Теплова продуктивність, кВт	446	547	699
Коефіцієнт перетворення COP	1,88	2,29	3,14

Розрахуємо навантаження на джерело для трьох режимів споживання :

- Максимальний, для максимальної нормованої температури опалювального періоду $T_{зовн\ макс} = -22\text{ °С}$
- Середньотемпературного режиму роботи, для середньої нормованої температури опалювального періоду $T_{зовн\ сер} = -6\text{ °С}$
- Перехідного та літнього періоду, коли система опалення не працює, а працює лише система ГВП

Для забезпечення розрахункової потужності на систему - 5,18 МВт розраховуємо необхідну кількість блоків, які будуть працювати в каскаді, враховуючи продуктивність при температурі зовнішнього повітря -20 °С :

$$N_{\text{блоків оп}} = \frac{5,18}{0,446} = 11,61$$

Тобто для забезпечення розрахункового навантаження необхідно використати дванадцять блоків теплових насосів для забезпечення максимальних потреб системи опалення та гарячого водопостачання

Розраховуємо необхідну кількість блоків на середнє навантаження системи опалення при температурі зовнішнього повітря -7 °С :

$$N_{\text{блоків оп}} = \frac{2,66}{0,547} = 4,86$$

Тобто для забезпечення системи опалення при середньосезонній температурі -6°C необхідно 5 блоків. Отже, ми маємо п'ять блоків працюючих і сім в холодному резерві .

Розраховуємо необхідну кількість блоків на середнє навантаження системи в літній період:

$$N_{\text{блоків оп}} = \frac{0,87}{0,699} = 1,24 \quad 2$$

Тобто для забезпечення системи в літній період необхідно 2 працюючих блока. Отже, ми маємо 23 блока працюючих і 10 в холодному резерві.

Зводимо основні характеристики в таблицю 7:

Таблиця 7

Кількість блоків теплового насосу по періодам

Параметр	Температура зовнішнього середовища, $^{\circ}\text{C}$		
	-20°C	-6°C	Літній
Кількість блоків в роботі	12	5	2
Кількість блоків в резерві	0	7	12

3.3.2 Визначення споживання електричної енергії

Розраховуємо споживання електричної енергії для роботи агрегатів за формулою:

$$W = \frac{N_{\text{блоків}} * Q_{\text{блока}}}{COP} * T_{\text{роб}}$$

Розраховуємо споживання електроенергії в зимовий період:

$$W = \frac{N_{\text{блоків}} * Q_{\text{блока}}}{COP} * T_{\text{роб}}$$

$$W_{\text{заг зн}} = \frac{5 * 0,547}{2,29} * 432 = 5159 \text{ MВт} * \text{год} / \text{рік}$$

Розраховуємо споживання електроенергії в літній період:

$$W_{\text{заг лп}} = \frac{2 * 0,699}{3,14} * 432 = 1\,923 \text{ МВт} * \text{год} / \text{рік}$$

Розраховуємо загальне споживання електричної енергії за рік

$$W_{\text{річне}} = W_{\text{заг зм}} + W_{\text{заг лп}}$$

$$W_{\text{річне}} = 7\,082 \text{ МВт} * \text{год} / \text{рік}$$

Розраховуємо річні витрати на закупівлю основного обладнання.

Капітальні витрати на купівлю основного обладнання становлять, при вартості одного блоку 272 000 Євро, орієнтовно 12 240 000 грн :

$$\begin{aligned} \text{Загальна вартість обладнання} &= 12 * 12\,240\,000 = \\ &146\,880\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

Розраховуємо річні витрати на електричну енергію.

Річні витрати на електричну енергію при вартості електроенергії для підприємств тепlopостачання - 2147,25 грн/МВт·год будуть складати:

$$\text{Витрати ee} = 7\,082 * 2147,25 = 15\,200\,000 \text{ грн}$$

Розраховуємо вартість виробництва 1МВт теплової енергії:

$$\begin{aligned} \text{Вартість виробництва 1МВт} &= 15\,200\,000 / 15\,249 = \\ &= 996 \text{ грн} \end{aligned}$$

Як показують розрахунки, додатково ми маємо і невикористану потужність котельної, яку ми можемо відавати в теплову мережу на опалення та ГВП сусідніх споживачів в майбутньому.

Розрахунок невикористаної потужності джерела (теплового насосу)

Розрахуємо наявну потенційну невикористану потужність в зимовий

$$\begin{aligned} \text{період } Q_{\text{сер зм невик}} &= 7 * 0,547 * 4320 = \\ &= 16\,547 \text{ МВт*год/рік} \end{aligned}$$

Розрахуємо наявну потенційну невикористану потужність в літній період

$$\begin{aligned} Q_{\text{сер лт невик}} &= 10 * 0,699 * 4320 = \\ &= 40\,180 \text{ МВт*год/рік} \end{aligned}$$

Розрахуємо загальну потенційну невикористану потужність:

$$Q_{\text{невик}} = 16\,547 + 40\,180 = 56\,727 \text{ МВт*год/рік}$$

Тобто, потенційні надходження при вартості 1 МВт год теплової енергії 1374 грн будуть складати :

$$\begin{aligned} \text{Надходження з невикористаних потужностей} &= \\ &= 1374 * 56\,727 = 77\,942\,000 \text{ грн/рік} \end{aligned}$$

Експлуатаційні витрати на електроенергію при вартості електроенергії для підприємств теплопостачання - 2147,25 грн/МВт·год будуть складати:

$$\begin{aligned} W_{\text{заг}} &= (Q_{\text{сер зм}} / 2,29 + Q_{\text{сер лт}} / 3,14) * 2147,25 = \\ &= 42\,992\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

Тобто ми потенційно можемо мати додатковий річний дохід/втрати:

$$\begin{aligned} \text{Дохід} &= 77\,942\,000 \text{ грн} - 42\,992\,000 \text{ грн} = \\ &= 34\,950\,000 \text{ грн} \end{aligned}$$

3.3.3 Екологічний аспект. Розрахунок викидів CO₂ в атмосферу.

Для розрахунку шкоди, екологічного впливу необхідно розрахувати викиди вуглекислого газу в атмосферу на виробництво необхідної кількості електричної енергії для забезпечення функціонування об'єкту.

Розраховуємо викиди CO₂ в атмосферу на виробництво електричної енергії за формулою:

Розраховуємо викиди CO₂ в атмосферу :

$$E_{CO_2} = W_{річне} * \text{Викиди } CO_2 \text{ на } 1 \text{ м}^3$$

де максимальні викиди CO₂ орієнтовно становлять, для виробництва електроенергії в Україні, 0,28-0,3 кг CO₂ на 1 кВт·год

$$E_{CO_2} = 7\,082\,000 * 0,3 = 2\,124\,600 \text{ кг } CO_2$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 8

Таблиця 8

Загальні економіко-екологічні показники (Варіант 3)

Вартість основного обладнання, грн	146 880 000
Річне споживання електроенергії, кВт	7 082 000
Річні витрати на електроенергію, грн	15 200 000
Вартість виробництва 1МВт*год теплової енергії, грн	966
Річні викиди CO ₂ , кг	2 124 600
Потенційні додаткові надходження, грн	34 950 000

3.4 Вибір оптимального технічного рішення

Для вибору оптимального технічного рішення зводимо всі дані розрахунків в підсумкову таблицю 9:

Таблиця 9

Порівняльна таблиця результатів розрахунків 3 варіантів

Показник	ЦТ	Прибудован а котельня	Тепловий насос
Вартість основного обладнання, грн	62 000 000	25 000 000	146 880 000
Річні експлуатаційні витрати, грн	42 001 016	31 957 295	15 200 000
Вартість виробництва 1МВт*год теплової енергії, грн	2 754	2 095	966
Річні викиди CO ₂ , кг	4 384 721	3 336 201	2 124 600
Потенційні додаткові надходження, грн		-21 291 694,4	34 950 000

3.4.1 Розрахунок термінів окупності технічних рішень

Основне джерело теплопостачання в місті – це система централізованого теплопостачання, отже термін окупності всіх альтернативних рішень будемо рахувати по відношенню до нього.

Розраховуємо термін окупності за формулою:

$$\text{Термін окупності} = \text{Витрати} / \text{економія}$$

Розрахунок терміну окупності прибудованої модульної котельні:

$$\begin{aligned} \text{Термін окупності прибудована котельня} &= \\ &= 25\,000\,000 / (42\,001\,016 - 31\,957\,295) = 2,5 \text{ роки} \end{aligned}$$

Розрахунок терміну окупності прибудованої теплового насосу:

$$\begin{aligned} \text{Термін окупності насосу} &= 146\,880\,000 / (42\,001\,016 \\ &- 15\,200\,000) = 5,5 \text{ років} \end{aligned}$$

3.4.2 Вибране технічне рішення

Проаналізувавши отримані дані розрахунків по термінам окупності найбільш очевидним здається рішення - це прибудована газова котельня.

Але це недалекоглядне та короткострокове рішення, яким керуються спеціалісти, які орієнтуються лише на короткостроковий результат.

Якщо проаналізувати всі складові згідно зведеної таблиці, то стає зрозуміло, що навіть при найбільших капітальних витратах рішення на базі теплового насосу є найбільш екологічним та має найбільшу перспективу, оскільки при нинішніх цінах виробництво теплової енергії є потенційно збитковим і про це вказують розрахунки економії при потенційному використанні невикористаних потужностей для скидання в загальну теплову мережу, до прикладу газової котельні.

Також ми маємо відзначити, що ми маємо будувати вуглицевонейтральні системи, щоби разом з Європейською спільнотою досягати мети 2050 року - стати вуглецевої нейтральними і в цьому аспекті також найбільш оптимальне рішення є – використання теплового насосу

Рішення з тепловими насосами дає нам можливість в майбутньому переходити до четвертого покоління централізованої системи опалення , яке є найбільш ефективним, при умові існування централізованих мереж теплопостачання

Отже, незважаючи на найбільші первинні капіталовкладення при реалізації технічного рішення на базі теплових насосів це рішення є найбільш екологічно і економічно перспективним в майбутньому та закладає фундамент енергетичної незалежності України та нівелює залежність від природного газу.

Висновки

1. Проведено підбір основного обладнання та розрахунок техніко-економічних результатів при підключенні об'єкту до системи централізованого теплопостачання, прибудованої газової котельні та промислового теплового насосу.
2. Сучасні технології дозволяють тепловим насосам (повітря - вода) мати вихідну температуру теплоносія в діапазоні 80...85 °С при температурі зовнішнього повітря -20 °С.
3. Виявлено, найбільші капіталовкладення для забезпеченням теплоносієм об'єкту потребує рішення на базі промислового теплового насосу.
4. Встановлено, що найменша вартість виробництва 1МВт*год теплової енергії вдається досягти при використанні теплових насосів (більше ніж в 2 рази менше ніж за рахунок ЦТ або прибудованої модульної котельні на газу).
5. Термін окупності теплового насосу становить до 5,5 років, що є економічно доцільним.
6. З погляду на екологічний аспект, то немодернізована система ЦТ на базі застарілих котлоагрегатів має найбільші викиди CO₂ в атмосферу, тоді як тепловий насос генерує в 2 рази менше викидів ніж сучасні газові котлоагрегати.
7. При розвитку системи ЦТ та існуючих потужностей, ми можемо додатково генерувати, за рахунок надлишкової потужності, до 56 727 МВт*год за рік теплової енергії за рахунок найбільш екологічного рішення на базі теплових насосів і тим самим забезпечувати ще більше споживачів енергією поновлювальних джерел.
8. Ми маємо будувати та відбудовувати нашу державу краще ніж було і використовувати найсучасніші технології які є в світі.
9. Централізована система теплопостачання будівель – дозволяє нам комбінувати джерела і використовувати те, яке є найбільш ефективним в даний момент часу.

Список використаної літератури

1. "Progression of District Heating – 1st to 4th generation” The Authors: Thorsen, Jan Eric; Lund, Henrik; Mathiesen, Brian Vad. Aalborg Universitet.
2. «Статистика енергетики за 2017 рік» Державна служба статистики України
http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/infografika/2019/energ/energ_2017.pdf
3. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://dbn.co.ua/>
4. ДБН В.2.5-39:2008 «Теплові мережі» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://dbn.co.ua/>
5. Асортимент продукції Viessmann <https://www.viessmann.ua;>
6. A European Green Deal «Striving to be the first climate-neutral continent»
https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
7. 4. «Distribution of district heating: 1st Generation» Authors: Oddgeir Gudmundsson Director at Danfoss <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-1st-generation-oddgeir-gudmundsson>
8. «Distribution of district heating: 2nd Generation» Authors: Oddgeir Gudmundsson Director at Danfoss <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-2nd-generation-oddgeir-gudmundsson>
9. «Distribution of district heating: 3rd Generation» Authors: Oddgeir Gudmundsson Director at Danfoss <https://www.linkedin.com/pulse/distribution-district-heating-3rd-generation-oddgeir-gudmundsson>
10. Теплові насоси Advansor <https://www.advansor.com/product/valuebox>
11. Компанія "ТК Фаворит" виробник попередньоізолюваних труб
<https://trubu.com.ua/ua/>