

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

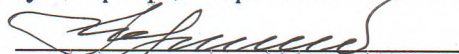
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Навчально-науковий центр морської інфраструктури

«Допущений до захисту»

Керівник ННЦМІ

д-р техн. наук, проф., Харитонов Ю.М.



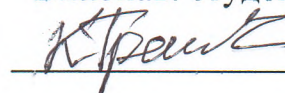
«20» 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

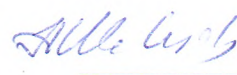
**на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ В УМОВАХ
ОБМЕЖЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ**

Виконав: студент групи 6621м

 Грешнов К.А.

Керівник роботи:

д.т.н., професор

 Шевцов А.П.

Миколаїв – 2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Машинобудівний навчально-науковий інститут

Навчально-науковий центр морської інфраструктури

Спеціальність: 144 «Теплоенергетика»

Освітня програма: «Енергетичний менеджмент»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми
д.т.н., доцент Кузнецов В.В.

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Студента Грешнова Костянтина Андрійовича

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання к житловому сектору в умовах обмеження викидів парникових газів

Керівник роботи: д.т.н., професор Шевцов А.П.

Затверджено наказом ректора № 1226-уч від “15” жовтня 2025 року.

Термін подання роботи: 10 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані по роботі: нормативні документи щодо проектування та експлуатації систем централізованого теплопостачання.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

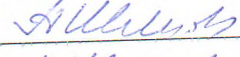
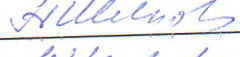
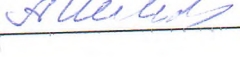
1. Напрями підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання к житловому сектору.

2. Аналіз систем централізованого теплопостачання к житловому сектору.

3. Забезпечення енергоефективності централізованого теплопостачання к житловому сектору.

4. Заходи з охорони праці при експлуатації централізованих систем теплопостачання.

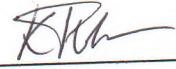
5. Перелік презентаційних матеріалів: презентаційний матеріал складається зі слайдів, які містять тема, кваліфікаційні ознаки роботи, результати, висновки. 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1.	д.т.н., професор Шевцов А.П.		
2.	д.т.н., професор Шевцов А.П.		
3.	д.т.н., професор Шевцов А.П.		
4.	д.т.н., професор Шевцов А.П.		

7. Дата видачі завдання «15» 09 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Систематизація інформації та складання розгорнутого плану роботи, затвердження його науковим керівником	Вересень 2025	
2.	Обробка інформації за темою кваліфікаційної роботи. Розробка першого розділу роботи	Жовтень 2025	
3.	Розробка другого розділу	Жовтень 2025	
4.	Розробка третього розділу роботи	Листопад 2025	
5.	Розробка четвертого розділу роботи	Листопад 2025	
6.	Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	Листопад 2025	
7.	Оформлення автореферату кваліфікаційної роботи	Грудень 2025	
8.	Розробка презентації та доповіді	Грудень 2025	
9.	Усунення зауважень наукового керівника та завершення роботи	Грудень 2025	
10.	Захист кваліфікаційної роботи	Грудень 2025	

Студент  Грешнов К.А.

Керівник роботи  д.т.н., професор Шевцов А.П.

АНОТАЦІЯ

Грешнов К.А. «Підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання житлового сектору в умовах обмеження викидів парникових газів». Кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 «Теплоенергетика», освітньої програми «Енергетичний менеджмент». Миколаїв: НУК ім. адм. Макарова. 2025 рік 124 сторінки.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню кліматичної нейтральності систем централізованого теплопостачання шляхом інтеграції до них відновлювальних джерел енергії в кліматичних умовах півдня України.

Основними результатами дослідження слід вважати проведений аналіз можливостей використання місцевих поновлювальних джерел енергії для забезпечення тепловою енергією житлового району Ліски-Намив та отримані техніко-економічні показники застосування таких установок.

Ключові слова: система централізованого теплопостачання, котельня, тепла мережа, когенераційна установка, нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії, парникові гази

ANNOTATION

Hrieshnov K.A. «Improving the energy efficiency of centralized heating in the residential sector in the context of limiting greenhouse gas emissions». Qualification work in specialty 144 «Heat and Power Engineering», educational program «Energy Management». Mykolaiv: Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 2025, 124 pages.

The qualification work is dedicated to increasing the climate neutrality of district heating systems by integrating renewable energy sources into them in the climatic conditions of southern Ukraine.

The main results of the study should be considered the analysis of the possibilities of using local renewable energy sources to provide thermal energy to the Lisky-Namiv residential area and the obtained technical and economic indicators of the use of such installations.

Keywords: district heating system, boiler house, heating network, cogeneration plant, renewable energy sources, greenhouse gases

ЗМІСТ

<i>ВСТУП</i>	8
<i>РОЗДІЛ 1. НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ.</i> ..	11
1.1. Сучасний стан та перспективи розвитку систем енергозабезпечення багатоквартирних житлових будівель.....	11
1.2. Особливості застосування централізованого теплопостачання багатоквартирних житлових будівель.....	24
1.3. Екологічні обмеження при підвищенні енергоефективності централізованого теплопостачання к житловому сектору.....	32
1.4. Постановка завдання дослідження	33
1.5. Висновки до розділу 1	34
<i>РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ</i>	35
2.1. Характеристика засобів централізованого теплопостачання багатоквартирних житлових будівель.....	35
2.2. Заходи щодо підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання житлових будівель	38
2.3. Моделі і алгоритми визначення показників централізованого теплопостачання житлових будівель	43
2.4. Вихідні дані для досліджень в умовах міста Миколаїва.....	55
2.6. Висновки до розділу 2	58
<i>РОЗДІЛ 3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ</i>	59

3.1. Характеристика житлового району та визначення потреб у тепловій енергії	59
3.2. Визначення енергетичних технологій для створення ефективної системи централізованого теплопостачання	69
3.3. Заходи з реконструкції теплових мереж для створення ефективної системи централізованого теплопостачання	77
3.4. Визначення потужності та продуктивності відновлювальних джерел енергії на території обраного району	85
3.5. Визначення впливу заходів підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання на рівень скорочення викидів парникових газів	94
3.6. Висновки до розділу 3	97
<i>РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ</i>	<i>98</i>
4.1. Організація системи охорони праці на підприємствах теплопостачання	98
4.2. Вимоги безпеки під час експлуатації обладнання систем теплопостачання	102
Висновки до розділу 4	105
<i>ВИСНОВКИ:</i>	<i>106</i>
<i>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:</i>	<i>107</i>
<i>ДОДАТКИ</i>	<i>114</i>

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Оскільки на підтримання комфортних теплових умов в житлових та громадських будівлях витрачається значна частка викопного палива, то для досягнення кліматичної нейтральності у Європейському Союзі системам централізованого теплопостачання відводиться суттєва роль, як і термомодернізації будівель та створенню кліматично нейтральних установок для систем індивідуального опалення. Вважається, що саме централізовані системи теплопостачання зможуть інтегрувати різні відновлювальні джерела енергії та ефективно збалансувати попит і генерацію використовуючи традиційні та нетрадиційні джерела. Така інтеграція вважається ефективним шляхом до кліматичної нейтральності. Однак для цього системи централізованого теплопостачання повинні зазнати значних трансформацій [43, 44].

Раніше генерація теплової енергії в системах централізованого теплопостачання здійснювалась в основному з використанням викопного палива. Це дозволяло підтримувати високі температури теплоносія у теплових мережах, що у свою чергу зменшувало капітальні витрати та деякі експлуатаційні витрати при використанні таких систем. Для створення кліматично нейтральних систем теплопостачання необхідна інтеграція до них нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії, що потребує зниження температур у теплових мережах та системах опалення споживачів. Саме це дозволить інтегрувати до них широко розповсюджені низькотемпературні джерела тепла [42].

Створенню таких систем централізованого теплопостачання часто перешкоджають наступні фактори:

- нестача даних щодо ефективності застосування новітніх енергетичних технологій у місцевих умовах;
- недостатня обізнаність та відсутність спеціалістів, які зможуть ефективно експлуатувати новітнє енергетичне обладнання;

- відсутність місцевих планів щодо створення та розвитку таких систем;
- дисбаланс цін на паливо, що створює несправедливу конкуренцію з індивідуальними системами опалення;
- високі інвестиційні витрати;
- тривалі процедури видачі додаткових дозволів, пов'язаних з використанням відновлювальних джерел енергії.

Досліджуючи різні сценарії створення та експлуатації систем централізованого теплопостачання з відновлювальними джерелами енергії, можна оцінити технічний та економічний потенціал таких джерел енергії у місцевих умовах, експлуатаційні характеристики, а також вплив інших важливих факторів. Це дозволить отримати знання та технічні дані по деяким напрямкам, підвищити обізнаність та отримати бачення як повинні будуватися такі системи. Тому дослідження за темою «Підвищення енергоефективності централізованого теплопостачання к житловому сектору в умовах обмеження викидів парникових газів» є актуальним.

Дослідження виконувалися в рамках існуючих нормативно-законодавчих актів та у відповідності до планів проведення науково-дослідних робіт Центру прикладних досліджень в енергетиці Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Об'єктом дослідження є процеси в системах централізованого теплопостачання житлової забудови в кліматичних умовах півдня України.

Предметом дослідження є енергетичні та економічні показники систем централізованого теплопостачання при інтеграції до них відновлювальних джерел енергії.

Метою дослідження є підвищення енергоефективності систем централізованого теплопостачання шляхом інтеграції до них відновлювальних джерел енергії в кліматичних умовах півдня України.

Основними задачами дослідження для досягнення поставленої мети є:

- дослідження нормативних документів України з питань енергозбереження, теплозабезпечення житлового фонду, кліматичної нейтральності, впровадження та експлуатації відновлювальних джерел енергії тощо, визначення напрямків проведення досліджень;

- дослідження будови та наявних умов експлуатації систем централізованого теплопостачання житлової забудови в кліматичних умовах півдня України;

- визначення енергетичних технологій нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії для інтеграції до систем централізованого теплопостачання в кліматичних умовах півдня України;

- визначення потенціалу відновлювальних джерел енергії та їх впливу на техніко-економічні та екологічні показники систем централізованого теплопостачання при інтеграції їх до таких систем;

- розробка рекомендацій щодо теплозабезпечення житлового фонду при інтеграції до систем централізованого теплопостачання відновлювальних джерел енергії в кліматичних умовах півдня України.

Методи дослідження. Науково-прикладна задача вирішувалась в рамках новітніх концепцій та сучасних методологій теорії системного аналізу, статистичних досліджень, математичного моделювання та інформаційних технологій.

Структура роботи: магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел з 50 найменувань. Загальний обсяг магістерської роботи складає 122 сторінки, містить 22 рисунка та 40 таблиць.

РОЗДІЛ 1. НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ

1.1. Сучасний стан та перспективи розвитку систем енергозабезпечення багатоквартирних житлових будівель

В останні десятиліття Європа визнала пріоритетність розвитку централізованого теплопостачання й охолодження у центральних і північних державах Європи. На це рішення вплинула необхідність збільшення використання у Європі відновлювальних джерел енергії, необхідність відмови або скорочення споживання органічного палива, а також термомодернізація будівель яка дозволяє перейти до використання низькотемпературної енергії у системах опалення, що сприяє інтеграції до них відновлювальних джерел енергії.

Зараз в Європі існує більше 6000 систем централізованого теплопостачання, які забезпечують 12% загальної потреби в тепловій енергії. В основному ці системи діють у центральних і північних державах, а частка споживачів послуг централізованого теплопостачання становить: Ісландія – 92%, Латвія – 65%, Данія – 63%, Литва – 57%, Естонія – 62%, Польща – 53%, Швеція – 52%, Фінляндія – 50% [45]. У порівнянні з Україною кількість градусо-днів опалювального періоду у цих державах не дуже відрізняється значень для українських міст. Тобто політики, які застосовуються у Європі до централізованого теплопостачання, можуть впроваджуватися і в Україні.

Системи централізованого теплопостачання в Україні обслуговували близько 60% споживачів. До початку військових дій в Україні працювало близько 35 великих ТЕЦ, біля 200 промислових установок та понад 100 тис. котельнь. Більшість теплогенеруючого обладнання на цих об'єктах не відповідало сучасним вимогам з енергоефективності, екологічним вимогам, та потребувало реконструкції і модернізації. Також спостерігалися значні втрати

теплової енергії у теплових мережах, а житлові та громадські будівлі мали високі питомі витрати на опалення.

Для реалізації змін у цій сфері в Україні були прийняті необхідні законодавчі акти та нормативні документи, а також програми удосконалення структурних елементів систем теплопостачання, реалізацію яких призупинила військова агресія Російської Федерації.

Зараз сучасні європейські системи теплопостачання використовують енергетичні ресурси достатньо ефективно. Так 81% теплової енергії виробляється: з використанням відходів теплової енергії від технологічних процесів; в процесі комбінованого виробництва теплової й електричної енергії; з отриманням енергії від відновлювальних джерел. А 19% теплової енергії виробляється за рахунок прямого спалювання біомаси та органічного палива в основному для покриття пікових потреб.

Для України структура кінцевого споживання енергії домогосподарствами на різні потреби у 2020 році представлена на рисунку 1.1. Як видно зі статистичних даних найбільші витрати припадають на теплопостачання – 53%.

Згідно статистичних даних у 2020 році в Україні у системах теплопостачання та холодопостачання кінцеве споживання енергії з відновлюваних джерел енергії усього становило 2869 тис. тонн нафтового еквівалента, у тому числі [42]:

- енергія всієї використаної біомаси – 2816 тис. тонн нафтового еквівалента (з них тверда – 2797 тис. тонн та біогаз – 19 тис. тонн);
- уся термальна енергія Землі яка використана за рахунок теплових насосів – 52 тис. тонн нафтового еквівалента (з них аеротермальна – 36 тис. тонн, гідротермальна – 6 тис. тонн, геотермальна – 10 тис. тонн);
- використана енергія сонячного випромінювання – 1 тис. тонн нафтового еквівалента.

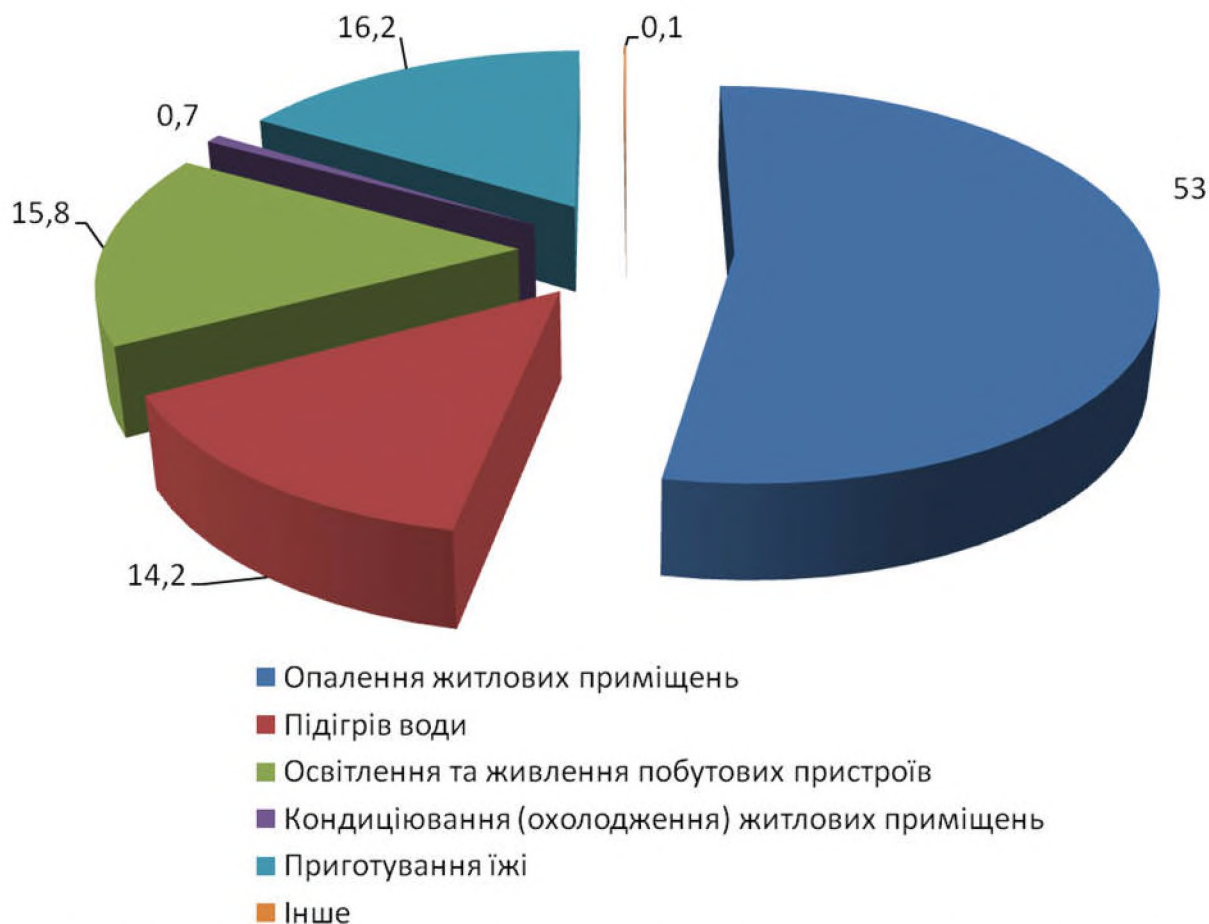


Рисунок 1.1 – Структура кінцевого споживання енергії домогосподарствами на різні потреби у 2020 році

Тобто 98 відсотків усієї відновлюваної енергії, що використовується для виробництва теплової енергії в Україні, складає біомаса. Це переважно деревна біомаса (пелети, дрова, тріска, відходи деревини), а також відходи агровиробництва (лушпиння соняшника, солома тощо).

Споживання біомаси для генерації теплової енергії в основному відбувається у системах автономного теплопостачання і рідше у системах децентралізованого теплопостачання.

В Україні є усі умови для суттєвого збільшення використання біомаси у системах теплопостачання. Україна має значні обсяги біомаси, які щорічно утворюються та є економічно доцільними для спалювання у теплогенеруючих установках. Найбільшим складовим цієї біомаси є відходи сільськогосподарського виробництва. Також великі перспективи має вирощування біомаси енергетичних культур.

Незважаючи на низьку ефективність систем централізованого теплопостачання в Україні, високу зношеність основного обладнання та неможливість забезпечувати комфортні умови для деяких споживачів, необхідність розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні визначена певними нормативними документами. Україна в цьому спирається на досвід країн Європи які демонструють, що високий рівень ефективності використання енергії досягається в результаті розвитку саме систем централізованого теплопостачання.

До переваг централізованого теплопостачання та охолодження можна віднести [47]:

- економічну доцільність у міській забудові при високій щільності теплових навантажень;
- безпечне та надійне постачання теплової енергії та холоду кінцевим споживачам;
- відсутність залежності від одного виду палива та можливість використання місцевого палива (а також сміття та інших горючих відходів);
- підвищені можливості інтеграції низькотемпературних відновлюваних джерел енергії (сонячна, геотермальна тепла енергія тощо), порівняно з індивідуальними системами енергозабезпечення будівель;
- можливість комбінованого виробництва теплової та електричної енергії;
- акумулювання теплової енергії в умовах її нерівномірного споживання та виробництва;
- нижчі питомі інвестиційні витрати на спорудження та витрати на обслуговування систем для кінцевих споживачів;
- менша площа яка необхідна для розміщення елементів систем теплопостачання та охолодження в підключених будівлях;
- посилення соціальної співпраці між споживачами, що страждають від енергетичної бідності.

Недоліками централізованого теплопостачання та охолодження є [47]:

- природна монополія централізованих мереж теплопостачання та охолодження яка зменшує можливості до впровадження ринкових принципів формування цін для окремих споживачів;

- порушення і аварії в системі теплопостачання та охолодження впливають на усі будівлі, що підключені до однієї мережі;

- споживачі не мають ні усвідомлення, ні контролю, ні впливу над системами теплопостачання та холодопостачання до яких вони підключені.

Зараз нормативними документами України визначені наступні напрямки підвищення ефективності функціонування систем централізованого теплопостачання [26]:

- скорочення енергоспоживання на потреби опалення, вентиляції та гарячого водопостачання шляхом підвищення енергоефективності житлових і громадських будівель;

- підвищення енергоефективності в секторі генерації і трансформації теплової енергії, шляхом оптимізації використання потужностей, технічної та технологічної модернізації або реконструкції;

- зменшення втрат теплової енергії та витрат електричної енергії на транспортування теплоносія у теплових мережах шляхом технічної, технологічної модернізації та концептуального перегляду схем теплопостачання з урахуванням доцільності децентралізації теплопостачання;

- широке впровадження використання відновлювальних джерел енергії у системах теплопостачання;

- запровадження ефективного управління енергоспоживанням.

Системи централізованого теплопостачання почали будуватися з 1880 року та поступово розвивалися. На сьогодні виділяють п'ять поколінь систем централізованого теплопостачання. Кожне покоління має свої особливості, порівняння концепцій централізованого теплопостачання різних поколінь представлено на рисунку 1.2.

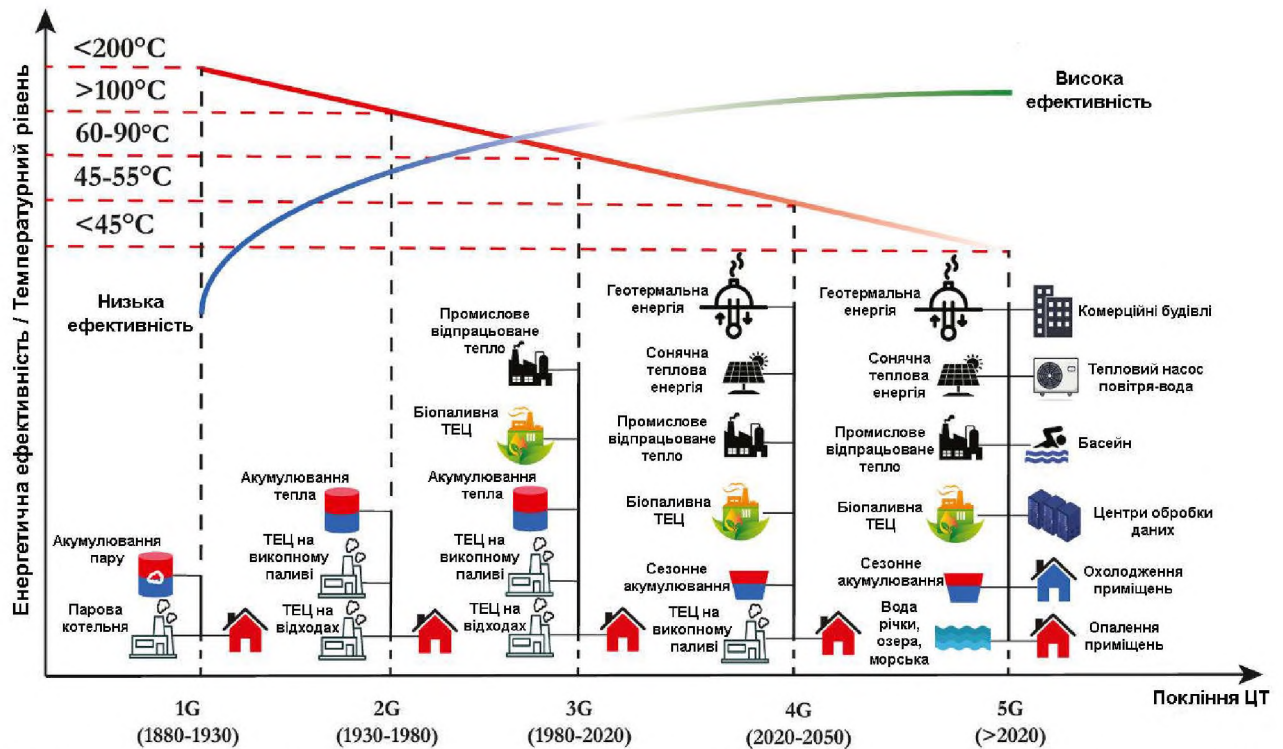


Рисунок 1.2 – Порівняння концепцій централізованого теплопостачання різних поколінь [5]

Можна визнати, що існуючі системи централізованого теплопостачання в Україні знаходяться у перехідному стані від другого покоління до третього. Хоча за останні роки у більшості систем теплопостачання в Україні відбулося зменшення температур теплоносія у подавальному та зворотному трубопроводах, та воно в основному було пов'язано зі значним зменшенням підключеного теплового навантаження, що дозволило перейти до зниженого температурного графіку, та це не було запланованою перебудовою системи теплопостачання. А інтеграція додаткових джерел генерації теплової енергії та систем акумулювання не відбувалася зовсім.

У Європі вважають, що системи централізованого теплопостачання можуть стати важливим компонентом при побудові майбутніх стійких енергетичних систем. Основна ідея полягає у отриманні теплової енергії з джерел, які раніше широко не використовувалися. Це повинно зменшити попит на викопне паливо та залежність від його імпорту. Крім того, впровадження таких систем централізованого теплопостачання зменшує витрати на будову

енергетичної системи держави в цілому та зменшує антропогенний вплив на навколишнє середовище.

У Європі визнано, що впровадження систем централізованого теплопостачання 4-го покоління є невід'ємною частиною переходу до систем сталого енергопостачання.

Щоб відігравати свою роль у майбутніх системах сталого енергопостачання, централізоване теплопостачання повинно виконувати наступні функції [28]:

а) постачати низькотемпературну теплову енергію на опалення приміщень та гаряче водопостачання у існуючі будівлі, енергомодернізовані існуючі будівлі та нові низькоенергетичні будівлі;

б) розподіляти теплову енергію у мережах з низькими втратами тепла;

в) отримувати тепло з низькотемпературних джерел та інтегрувати до мережі відновлювані джерела тепла, такі як сонячне, геотермальне тепло тощо;

г) бути інтегрованою частиною інтелектуальних енергетичних систем (тобто інтегрованих інтелектуальних мереж електроенергії, газу, рідин, а також систем районного охолодження 4-го покоління);

д) забезпечувати відповідне планування та мотивацію стосовно експлуатації, а також стратегічних інвестицій, пов'язаних з подальшою трансформацією в майбутні стійкі енергетичні системи (комплексне планування ресурсів та планування енергетичної системи).

Технологія централізованого теплопостачання та охолодження 4-го покоління передбачає координацію роботи систем будівлі та системи централізованого теплопостачання з метою підвищення енергоефективності всієї системи.

Щоб система централізованого теплопостачання була класифікована як система четвертого покоління, вона повинна використовувати інтелектуальну інтеграцію для максимізації загальної ефективності, а також використовувати місцево доступні відновлювані джерела енергії. Ключовою особливістю систем четвертого покоління є те, що вони постачають тепло або холод за температур,

максимально наближених до фактичних температур, які необхідні кінцевим споживачам – максимум 60...70 °С. Такі відносно низькі температури подавання теплоносія на опалення зменшують втрати в системі централізованого теплопостачання та сприяють більшій інтеграції нетрадиційних джерел тепла до них. Системи четвертого покоління також використовують великомасштабні теплові насоси з набагато вищою ефективністю для використання низькотемпературних джерел тепла або тепла навколишнього середовища. Вони також можуть використовувати системи акумулювання тепла або холоду для підтримки інтелектуальної роботи системи та теплових насосів.

Зараз дослідники також розглядають можливості переходу від систем четвертого покоління до систем централізованого теплопостачання п'ятого покоління (інша назва – нейтральна петля). Особливістю таких систем є те, що вони постачають тепло споживачам за ще нижчих температур, ніж у системах четвертого покоління. Це вимагає від кінцевих споживачів тепла використовувати додатково теплові насоси для підвищення температури якщо це необхідно. Така побудова системи дозволяє споживачам виступати як у ролі споживачів (шляхом вилучення тепла з мережі) або у ролі виробників теплової енергії (шляхом введення тепла в мережу). Аналогічний принцип застосовується і до централізованого постачання холоду.

Система централізованого теплопостачання п'ятого покоління найбільш підходить для впровадження, де потреби в охолодженні та опаленні близькі за навантаженням. Це важлива інновація, оскільки глобальний попит на охолодження зростає.

Конструктивно системи п'ятого покоління повинні мати двонаправлені труби та сучасну інфраструктуру керування та зв'язку (див. рис. 1.3), що повинно дозволяти користувачам споживати або виробляти тепло, або обмінюватися ним між собою. Використання теплових насосів у кінцевих споживачів дозволяє знизити температуру в мережі, тим самим зменшуючи втрати тепла при передачі та радикально знижуючи витрати на будову розподільчих контурів.

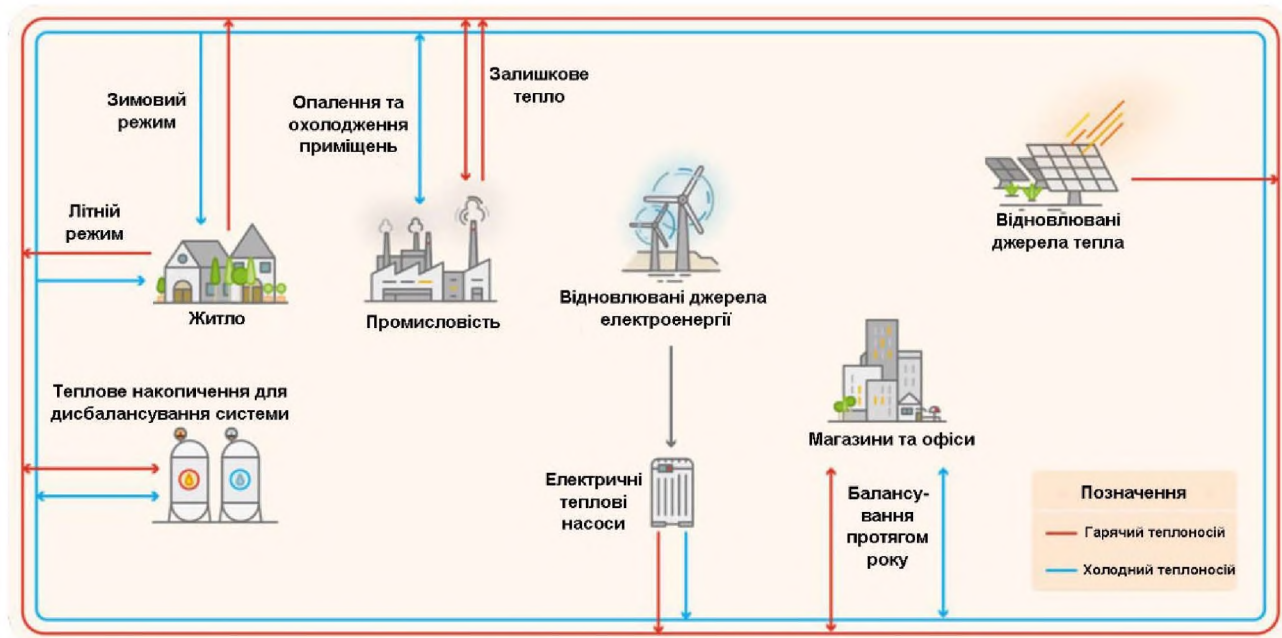


Рисунок 1.3 – Приклад побудови системи централізованого теплопостачання та охолодження п'ятого покоління [8]

Дослідниками зазначається, що системи п'ятого покоління можуть мати переваги над системами четвертого покоління, особливо коли потреби на опалення та охолодження близькі за розміром. Вони мають більшу ефективність, більше можливостей для використання відновлюваних джерел енергії та можуть знизити загальні витрати. Більш детальна схема будови системи п'ятого покоління представлена на рисунку 1.4.

Основними бар'єрами для впровадження систем централізованого теплопостачання 5-того покоління є [8]:

- залежність від електроенергетичної системи;
- необхідність створення специфічної нової інфраструктури;
- високі початкові витрати;
- збільшення витрат на електроенергію;
- брак належного фінансування та фінансових продуктів;
- брак кваліфікованого персоналу;
- потрібність у прокладанні мереж для опалення та охолодження;
- інституційні та адміністративні бар'єри;
- регуляторні та політичні бар'єри;

- відсутність громадського сприйняття;
- ринкові бар'єри;
- централізоване виробництво енергії, що обмежує зону розширення мережі;
- просторовий вплив на житловий простір та шум у житловому приміщенні;
- високий ризик для мешканців.

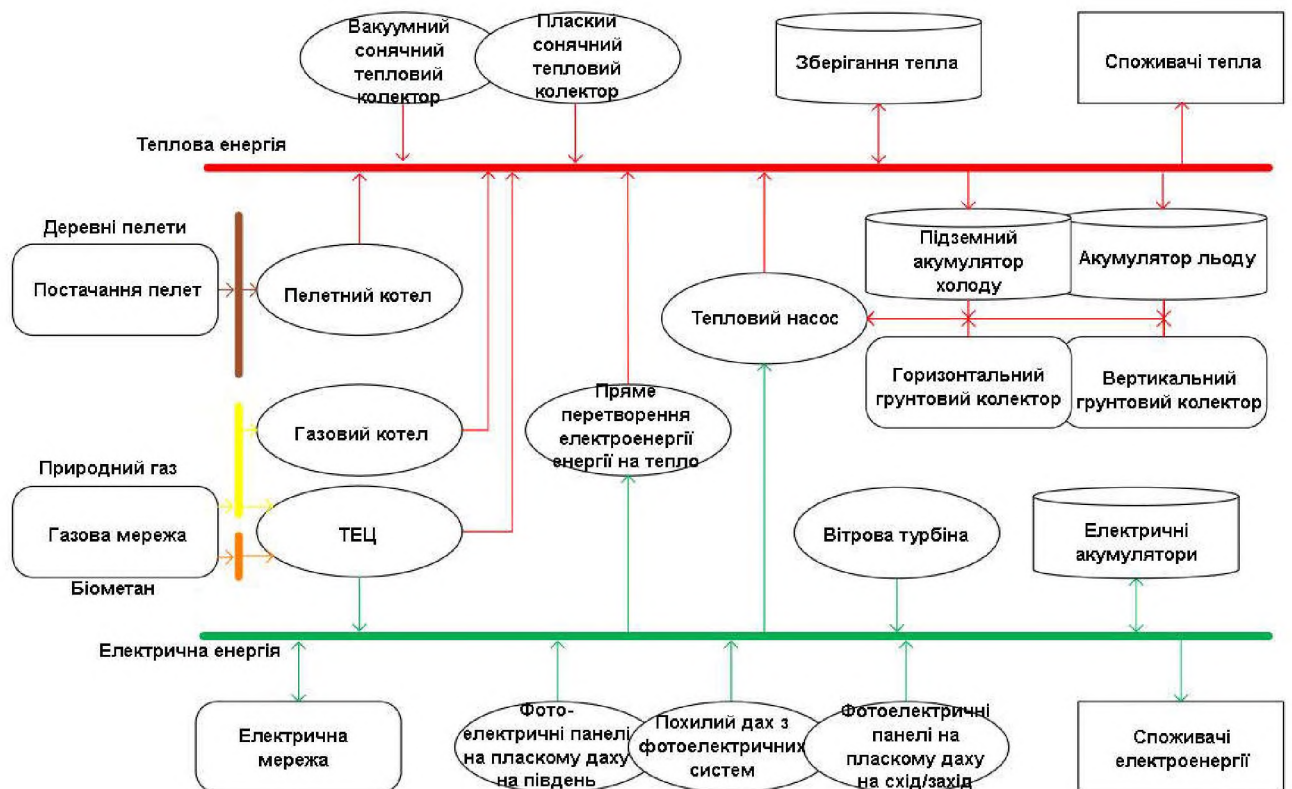


Рисунок 1.4 – Загальна схема будови системи централізованого тепlopостачання та охолодження п'ятого покоління (округлені прямокутники це джерела енергії, овали – перетворювачі енергії, циліндри – накопичувачі енергії, а прямокутники – споживачі енергії) [6]

У свою чергу драйверами для впровадження систем централізованого тепlopостачання 5-того покоління є [6]:

- досягнення цілей щодо зміни клімату (низький рівень викидів парникових газів);
- досягнення амбітних цілей енергетичного переходу країни;

- виключення геополітичних наслідків використання імпортованого природного газу;
- зміцнення енергетичної безпеки;
- зниження волатильності цін;
- створення місцевої економічної цінності та робочих місць;
- позитивний вплив на здоров'я;
- розширений доступ до недорогої, надійної та сталої енергії для опалення та охолодження;
- можливість використання відпрацьованого тепла.

Прикладом системи централізованого теплопостачання та охолодження п'ятого покоління є Mijwater у Херлені, Нідерланди. Ця система використовує магістральну мережу двонаправлених труб для обміну теплом та охолодженням між центром обробки даних, холодильниками супермаркетів, невеликими промисловими процесами та підключеними будівлями. Зараз вона обслуговує будівлі загальною площею понад 200000 квадратних метрів. Нові користувачі можуть легко підключитися до двонаправленого трубопроводу за незалежною схемою. Завдяки максимізуванню використання відпрацьованого тепла та відновлюваних джерел енергії, ця система скоротила споживання енергії на 30% порівняно з традиційною системою постачання.

Особливим недоліком побудови системи централізованого теплопостачання п'ятого покоління є те, що вибір підключення будівель, до таких мереж, може містити етичні ризики, оскільки критерій вибору, який базується виключно на балансуванні попиту, надаватиме перевагу певним типам будівель та виключатимуть інші. У таблиці 1.1 наведено SWOT-аналіз систем централізованого теплопостачання п'ятого покоління.

Таблиця 1.1 – SWOT-аналіз систем централізованого теплопостачання п'ятого покоління [8]

Сильні сторони	Слабкі сторони
Дозволяють рекуперувати низькотемпературне надлишкове тепло та використовувати низькоентальпійні відновлювальні джерела енергії. Забезпечують одночасно послуги опалення та охолодження протягом року (двонаправленість). Модульність, гнучкість та стійкість до зміни граничних умов та навантаження (ефективність на рівні будівлі). Незначні теплові втрати через низьку різницю температур між трубами та землею. Трубопроводи можуть бути виготовлені з полімерних матеріалів та можуть бути неізованими. Земля та мережа можуть використовуватися як теплонакопичувачі.	Капітальні витрати на будову більші, ніж у попередніх поколіннях централізованого теплопостачання. Потрібне встановлення окремого бака ГВП. Низький температурний перепад між подавальним та зворотним трубопроводами потребує більшого діаметра трубопроводів. Високі витрати на перекачування теплоносія через низький температурний перепад та вищу в'язкість рідини. Високі витрати на електроенергію для роботи теплових насосів.
Можливості	Загрози
Нова бізнес-модель для енергетичного ринку. Перетворення існуючих високотемпературних мереж на низькотемпературні можливе теоретично та потребує практичної перевірки. Синергія із сезонним зберіганням (нижчі втрати, хоча й нижча температура теплоносія). Мета декарбонізації може бути досягнута комунальними підприємствами або муніципалітетами шляхом розвитку такої інфраструктури. Нова енергетична концепція на районному рівні дозволяє досягти високої економії первинної енергії шляхом незначної реконструкції будівель. Більша взаємодія з електричним сектором (можливе використання теплових насосів для управління попитом)	Підхід до проектування та визначення розмірів, що застосовується в традиційних системах централізованого теплопостачання, потребує перегляду. Коефіцієнт перетворення теплової енергії теплоносія теплового насосу може бути занадто низьким, залежно від типу системи опалення будівлі та температури подачі в мережу будівлі. Вищі витрати та нижча продуктивність майбутніх теплових насосів через поступову відмову від використання флюорированих газів. У разі залежності від сезонного зберігання, можливий брак місця. Рішення щодо підключення приймаються окремим користувачем або групою користувачів.

У таблиці 1.2 представлені окремі технології генерації та зберігання енергії для систем централізованого тепlopостачання та охолодження п'ятого покоління, а також деяка характеристика щодо їх моделювання. Якщо технологія позначена як тривіальна, то ефективність перетворення енергії у даній технології визначається тільки обладнанням та її можна моделювати без додаткових залежностей.

Таблиця 1.2 – Огляд сучасних та перспективних технологій генерації та зберігання енергії [7]

	Найменування технології	Опис технології
Сучасні технології	Газовий котел	Газовий конденсаційний котел (тривіальна)
	Палетний котел	Котел на деревних палетах (тривіальна)
	ТЕЦ	Газовий двигун ТЕЦ
	Фотоелектричні панелі (PV)	Фотоелектричні панелі, встановлені на даху
	Сонячна теплова енергія	Плоскі та вакуумні трубчасті колектори
	Тепловий насос	Компресійний тепловий насос розсіл/вода
	Горизонтальний колектор	Горизонтальні колекторні труби для теплового насоса
	Акумулювання з використанням льоду	Акумулювання з використанням льоду (тривіальна)
	Вертикальний колектор	Геотермальна свердловина для теплового насоса
	Підземне сховище для акумулювання	Сезонне накопичення теплової енергії
	Електроенергія у тепло	Електродний котел (тривіальна)
	Акумулятор	Літій-іонний акумулятор
	Вітрова турбіна	Вітрова турбіна з горизонтальною віссю, встановлена на даху
	Акумулювання тепла	Акумулювання явного тепла на водній основі
Перспективні	Електроенергія у газ	Електролізер, що генерує водень
	Газ-в-енергію	Паливний елемент для водню
	Кондиціонування повітря	Тепловий насос для охолодження
	Гібридні сонячні модулі (PVT)	Гібридні сонячні модулі

1.2. Особливості застосування централізованого теплопостачання багатоквартирних житлових будівель

Основним законом, що регулює правову, економічну та організаційну діяльність у сфері теплопостачання є Закон України «Про теплопостачання». В цьому Законі визначені відносини та зобов'язання між споживачами та підприємствами, що здійснюють діяльність у сфері теплопостачання, яка пов'язана з виробництвом, транспортуванням, постачанням та споживанням теплової енергії. Закон наголошує на необхідності та створює умови для забезпечення покращення енергетичної безпеки України, підвищення енергоефективності систем теплопостачання, створення і удосконалення ринку теплової енергії та захисту прав усіх сторін.

У Законі викладені наступні принципи політики держави у сфері теплопостачання [26]:

- забезпечення енергетичної безпеки держави;
- державного управління і регулювання відносин у сфері теплопостачання;
- оптимального поєднання систем централізованого та автономного теплопостачання відповідно до затверджених місцевими органами виконавчої влади схем теплопостачання з періодом перегляду п'ять років;
- державна підтримка та стимулювання у сфері теплопостачання;
- формування цінової та тарифної політики;
- пріоритетного розвитку застосування технології комбінованого виробництва теплової та електричної енергії (когенерації) та використання альтернативних джерел енергії;
- забезпечення захисту прав та інтересів споживачів;
- взаємної відповідальності суб'єктів відносин у сфері теплопостачання за якісне постачання теплової енергії та своєчасну її оплату;
- періодичний перегляд, удосконалення та техніко-економічна оптимізації схем теплопостачання, затверджуваних місцевими органами виконавчої влади;
- дотримання правил і норм усіма суб'єктами відносин у сфері теплопостачання;

- забезпечення технологічної безпеки функціонування систем теплопостачання під час припинення газопостачання;
- створення умов для функціонування сфери теплопостачання на принципах самоокупності;
- сприяння розвитку конкурентних відносин на ринку теплової енергії;
- встановлення відповідальності суб'єктів теплопостачання за порушення законодавства у сфері теплопостачання;
- підвищення екологічної безпеки систем теплопостачання;
- створення умов для впровадження енергозберігаючих технологій;
- забезпечення комерційного обліку постачання теплової енергії.

Зараз розглядаються законодавчі зміни до викладених принципів державної політики у цьому Законі щоб посилити ті тенденції у теплопостачанні на яких повинні будуватися системи теплопостачання четвертої генерації. Пропонується додати додатковий принцип політики держави – «визнання централізованого теплопостачання як сфери державного інтересу та підтримки його розвитку». Це є значною зміною у державній політиці, оскільки раніше держава підтримувала децентралізацію теплопостачання.

Також пропонується уточнити деякі принципи підкресливши необхідність [24]:

- розвитку комбінованого виробництва електричної та теплової енергії (когенерації, а при доцільності і тригенерації);
- використання відновлювальних джерел енергії у теплопостачанні;
- застосування теплових насосів та інших альтернативних технологій виробництва теплової енергії;
- стимулювання до енергозбереження, реконструкції та модернізації систем теплопостачання.

Також Закон наголошує, що основними напрямками удосконалення систем теплопостачання є [26]:

- планування теплопостачання, розроблення та реалізація схем теплопостачання міст та інших населених пунктів України на основі

оптимального поєднання централізованих та автономних систем теплопостачання (строк дії таких схем теплопостачання – 10 років);

- впровадження когенераційних установок, у тому числі на базі діючих опалювальних котельнь;

- використання альтернативних джерел енергії, у тому числі енергії вітру, сонця, геотермальних вод, біопалива, відходів виробництва тощо;

- впровадження високоефективного теплоенергетичного обладнання і матеріалів у новостворюваних та діючих системах теплопостачання, зокрема, котлів з підвищеним коефіцієнтом корисної дії, утилізаторів тепла вихідних газів, уніфікованих блочних палиникових пристроїв з автоматикою, компактних теплообмінних апаратів, систем диспетчерського контролю та управління технологічними процесами;

- зменшення теплових втрат під час транспортування теплової енергії в теплових мережах шляхом впровадження сучасних видів теплоізоляції;

- збільшення строків експлуатації теплових мереж впровадженням сучасних видів антикорозійних покриттів, засобів електрохімічного захисту трубопроводів, застосування неметалевих трубопроводів;

- впровадження попереджувальної діагностики (енергетичного обстеження) стану систем теплопостачання у процесі експлуатації.

Також розглядається додати до Закону наступний напрямок удосконалення систем теплопостачання – встановлення ІТП у будівлях, приєднаних до систем централізованого теплопостачання.

Закон України «Про теплопостачання», згідно з наголошеними принципами, висуває наступні базові вимоги до проектування, будівництва, реконструкції та модернізації об'єктів теплопостачання:

- розробка проектної документації, будівництво або реконструкція об'єктів у сфері теплопостачання здійснюються на основі затверджених схем теплопостачання, державних будівельних норм та інших нормативно-правових документів на виконання будівельних робіт;

- розробка проектної документації, будівництво або реконструкція об'єктів у сфері теплопостачання повинна здійснюватися спеціалізованими організаціями, які мають відповідні ліцензії та дозволи;

- нове будівництво, реконструкція або модернізація теплогенеруючих об'єктів та теплових мереж повинна здійснюватися на основі оптимального поєднання автономного та централізованого теплопостачання.

Також Закон України «Про теплопостачання» наголошує, що суб'єкти у сфері теплопостачання повинні виконувати вимоги законодавства про охорону навколишнього природного середовища, здійснювати організаційні та технічні заходи, які необхідні на зменшення шкідливого впливу об'єктів у сфері теплопостачання на навколишнє природне середовище. За порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища суб'єкти відносин у сфері теплопостачання несуть відповідальність згідно з чинним законодавством.

У 2024 р. розпорядженням Кабінету Міністрів України № 587-р. схвалено Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року у якому наголошено, що ключовою ціллю у виробництві теплової енергії об'єктами у сфері теплопостачання є збільшення частки використання відновлюваних джерел енергії або вторинних енергетичних ресурсів у 2025 році до 30 %, у 2035 році до 40%. Тобто підтверджені цільові показники, які були встановлені Концепцією реалізації державної політики у сфері теплопостачання, затвердженою розпорядженням № 569 Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. Нажаль заявлені показники 2025 року не будуть досягнуті.

У Національному плані для виконання завдань заплановані наступні політики та заходи, що стосуються удосконалення систем теплопостачання [32]:

- оновлення Концепції реалізації державної політики у сфері теплопостачання;

- вдосконалення моделі державного регулювання у сфері теплопостачання;

- оцінка потенціалу застосування ефективного централізованого теплопостачання та високоефективної когенерації;
- гарантії походження електричної енергії, що вироблена високоефективною когенераційною установкою;
- стимулювання розвитку високоефективної когенерації;
- реалізація Державної цільової економічної програми енергетичної модернізації підприємств – виробників теплової енергії, що перебувають у державній або комунальній власності, на період до 2030 року.

Концепцію реалізації державної політики у сфері теплопостачання було прийнято у 2017 році, а період реалізації концепції становить 2017-2035 роки.

У цієї концепції до 2025 року планувалося виконати наступні завдання:

- запровадити 100-відсотковий комерційний облік спожитої теплової енергії;
- скоротити питомі витрати умовного палива під час виробництва теплової енергії котельнями до 155 кг у.п./Гкал;
- зменшити частку втрат у теплових мережах до 12%.

Зараз можна зробити висновок, що передбачені Концепцією завдання до 2025 року повністю реалізувати не вдасться та ключові цільові показники не будуть досягнуті.

У 2025 році розпорядженням Кабінету Міністрів України № 1083-р була затверджена Державна цільова економічна програма енергетичної модернізації підприємств-виробників теплової енергії, що перебувають у державній або комунальній власності, на період до 2030 року. Основні завдання та очікувані результати даної програми представлені у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Основні завдання та очікувані результати заплановані Державною цільовою економічною програмою енергетичної модернізації підприємств-виробників теплової енергії [12]

Найменування завдання	Найменування показників виконання завдання	Одиниця виміру	Усього за програмою
1. Розроблення або оновлення схем теплопостачання населених пунктів	Отримання актуальних схем теплопостачання населених пунктів з населенням понад 20 тис. осіб	відсотки	100
2. Забезпечення 100 відсотків комерційного обліку теплової енергії	Комерційний облік теплової енергії	відсотки	100
3. Модернізація теплових вводів споживачів (встановлення індивідуальних теплових пунктів)	Зменшення річного споживання природного газу	млн. куб. метрів	253,8
4. Капітальний ремонт і реконструкція об'єктів систем централізованого теплопостачання	Зменшення річного споживання природного газу	млн. куб. метрів	334
5. Підвищення ефективності і надійності систем централізованого теплопостачання, сприяння декарбонізації шляхом скорочення споживання і заміщення природного газу та розширення використання відновлюваних джерел енергії	Зменшення річного споживання природного газу	млн. куб. метрів	217
6. Запровадження систем енергетичного менеджменту, розвиток диспетчеризації в системах централізованого теплопостачання	Зменшення річного споживання природного газу	млн. куб. метрів	15,8

Також розпорядженням Кабінету Міністрів України № 761-р від 13 серпня 2024 р. було затверджено «Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року». У цьому плані стверджується, що в умовах України для виробництва теплової енергії з відновлюваних джерел енергії доцільно використовувати енергію сонячного випромінювання, енергію біомаси, геотермальну, гідротермальну та аеротермальну енергію.

Цим національним планом передбачається, що до 2030 року в системах теплопостачання та холодопостачання частка енергії з відновлюваних джерел у валовому кінцевому споживанні енергії досягне 32,5 відсотка. Заплановані показники по роках представлені у таблиці 1.4. У натуральному виразі у 2030 році це складе 7400 тис. тонн нафтового еквівалента, дані по роках представлені у таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Національна індикативна ціль встановлена для відновлюваних джерел енергії у валовому кінцевому споживанні енергії до 2030 року для систем теплопостачання та холодопостачання [31]

Роки	2020	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Відсоток у валовому кінцевому споживанні енергії	9,3	20,8	23,2	24,6	26,7	28,6	32,5

Таблиця 1.5 – Прогнозний внесок відновлюваної енергії в секторі теплопостачання та холодопостачання до валового кінцевого споживання енергії [31]

Роки	2020	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Тис. тонн нафтового еквівалента	2869	4175	5077	5466	6035	6503	7400

У 2020 році в Україні була оновлена Методика розроблення схем теплопостачання населених пунктів України [29]. Вона встановлює вимоги до розроблення схем теплопостачання населених пунктів з кількістю жителів більш

як 20 тисяч. Схема теплопостачання розробляється на десятирічний розрахунковий період. Періодичний перегляд схеми теплопостачання повинен виконуватися щонайменше один раз на 5 років.

Саме схема теплопостачання, яка розроблена згідно з цією методикою, є основним документом планування теплопостачання населеного пункту. Цей документ формується на основі комплексного розгляду і аналізу існуючих об'єктів системи теплопостачання та будівель та очікуваних змін, що будуть впливати на них. При розробленні схеми теплопостачання використовується генеральний план населеного пункту.

Згідно з цією Методикою ефективно централізоване теплопостачання – це система централізованого теплопостачання, що використовує: мінімум 50 % відновлюваної енергії, або 50 % скидної теплової енергії, або 75 % теплової енергії, виробленої у процесі когенерації, або 50 % сукупності такої енергії та тепла [29].

У Методиці наголошено, що схеми теплопостачання повинні розроблятися за принципом оптимального поєднання різних систем теплопостачання на території населеного пункту, з використанням методу аналізу витрат і вигід для вибору більш оптимального розвитку системи теплопостачання. Аналіз витрат і вигід повинен враховувати можливості використання наявних енергетичних ресурсів та застосування сучасних технологій теплопостачання, у тому числі відновлювальні джерела енергії, джерела скидної теплової енергії, а також можливі зміни у попиту на теплову енергію протягом розрахункового періоду.

У Методиці наголошується, що довгострокове планування, за умови позитивного аналізу витрат та вигід, спрямовується на поступове заміщення традиційних установок з використанням природного газу на [29]:

- когенераційні установки;
- установки, які використовують відновлювальні джерела енергії;
- установки, які використовують скидну теплову енергію.

1.3. Екологічні обмеження при підвищенні енергоефективності централізованого теплопостачання к житловому сектору

Згідно з нормативними документами [11] при проектуванні котельнь повинні передбачатися заходи з охорони навколишнього природного середовища. Як зазначається, при експлуатації котельнь не повинно відбуватися забруднення довкілля (повітря, ґрунту, поверхневих вод) шкідливими речовинами (факторами) вище встановлених норм. Це стосується як традиційних енергетичних установок, так і установок які призначені для використання відновлювальних джерел енергії.

Усі нормативні вимоги та обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, впливи на земельні ресурси, вимоги до поводження з промисловими та побутовими відходами, охорони водних ресурсів, контролю за впливами на об'єкти довкілля, запобігання забрудненню об'єктів довкілля тощо, приймають згідно з діючими нормативними документами України.

У складі проектної документації на котельню або систему теплопостачання з котельним або іншим устаткуванням розробляється проект оцінки впливу на навколишнє середовище відповідно до вимог викладених у державних будівельних нормах ДБН А.2.2-1. Деякі значення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин, які характерні для викидів газових котельнь, в атмосферному повітрі наведені у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. – Значення ГДК шкідливих речовин в атмосферному повітрі

Забруднююча речовина	ГДК, мг/м ³	
	максимально-разова	середньодобова
Нетоксичний пил	0,5	0,15
Діоксид сірки SO ₂	0,5	0,05
Оксид вуглецю CO	3,0	1,0
Діоксид азоту NO ₂	0,085	0,085
Технічний вуглець (кіпоть)	0,15	0,05
Сірководень H ₂ S	0,008	0,008

Також конструктивні та планувальні будівельні і технологічні рішення котельнь або іншого устаткування повинні забезпечувати виконання вимог до вібрації, шуму, електромагнітного та електростатичного полів, які утворюються від обладнання та трубопроводів котельнь у виробничій зоні, на прилеглій території та в приміщеннях основних будівель відповідно до діючих нормативних документів. Заходи щодо захисту від шкідливих впливів повинні обґрунтовуватися відповідними розрахунками до проектної документації.

Поводження з промисловими відходами здійснюється у відповідності з ДСанПіН 2.2.7.029.

1.4. Постановка завдання дослідження

Виконаний аналіз світових тенденцій щодо розвитку систем централізованого теплопостачання та аналіз наукових публікації за даною тематикою, а також законодавства Європейського Союзу та України, довів, що системам централізованого теплопостачання відводиться суттєва роль для досягнення кліматичної нейтральності.

Для побудови сучасних систем централізованого теплопостачання необхідно дослідити різні сценарії їх створення та експлуатації, можливості інтеграції до них відновлювальних джерел енергії, оцінити технічний та економічний потенціал таких джерел енергії у місцевих умовах, експлуатаційні характеристики тощо.

Саме це дозволило сформулювати основні завдання дослідження:

- визначити пріоритетні напрямки проведення дослідження;
- дослідити сучасну будову та наявні умови експлуатації систем централізованого теплопостачання житлової забудови в кліматичних умовах півдня України;
- визначити енергетичні технології нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії і їх потенціал для інтеграції до систем централізованого теплопостачання в кліматичних умовах півдня України;

– визначити вплив відновлювальних джерел енергії на техніко-економічні показники систем централізованого теплопостачання при інтеграції їх до таких систем;

– розробити рекомендації щодо теплозабезпечення житлового фонду при інтеграції до систем централізованого теплопостачання відновлювальних джерел енергії в кліматичних умовах півдня України.

Основною метою дослідження є підвищення енергоефективності систем централізованого теплопостачання шляхом інтеграції до них відновлювальних джерел енергії в кліматичних умовах півдня України.

1.5. Висновки до розділу 1

1. Обґрунтовані напрямки підвищення енергоефективності у сфері централізованого теплопостачання житлових будівель, що спрямовані на скорочення споживання викопного палива та досягнення кліматичної нейтральності за рахунок використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії.

2. Визначені основні завдання дослідження щодо систем централізованого теплопостачання в кліматичних умовах півдня України.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ

2.1. Характеристика засобів централізованого теплопостачання багатоквартирних житлових будівель

Закон України «Про теплопостачання» встановлює наступну класифікацію систем теплопостачання [26]:

- система автономного теплопостачання – це внутрішньобудинкова система опалення, яка використовується для теплозабезпечення окремого багатоквартирного будинку або окремої громадської будівлі;

- система децентралізованого теплопостачання – сукупність джерел теплової енергії потужність яких становить від 1 до 3 Гкал/год та розподільчих (місцевих) теплових мереж;

- система помірно-централізованого теплопостачання – сукупність джерел теплової енергії потужність яких становить від 3 до 20 Гкал/год, магістральних та/або розподільчих (місцевих) теплових мереж;

- система централізованого теплопостачання – сукупність джерел теплової енергії різної потужності, магістральних та розподільчих (місцевих) теплових мереж, що об'єднані між собою та здійснюють теплозабезпечення споживачів населеного пункту, яка також включає системи децентралізованого та помірно-централізованого теплопостачання.

Відповідно до нормативних документів та існуючої наявної практики, системи централізованого теплопостачання поділяють на наступні структурні елементи:

- а) джерела генерації теплової енергії (ТЕЦ, когенераційні установки, котельні, установки для отримання теплової енергії від відновлювальних джерел тощо);

- б) теплові мережі (магістральні, розподільні, тощо) та обладнання на них;

в) споживачі теплової енергії (а саме інженерні системи опалення, вентиляції і гарячого водопостачання житлових і громадських будівель).

Вимоги до проектування, будівництва та експлуатації цих структурних елементів, як правило, унормовуються окремими документами.

У Методиці розроблення схем тепlopостачання населених пунктів України визначена система показників які характеризують стан системи тепlopостачання населеного пункту. Ця система має шість груп показників – показники структури тепlopостачання, показники ефективності виробництва теплової енергії, показники ефективності транспортування теплової енергії, показники надійності тепlopостачання, показники якості тепlopостачання, показники екологічності тепlopостачання.

Показники структури тепlopостачання (відповідно до фактичного споживання теплової енергії) включають наступні [29]:

- частка теплової енергії, яка вироблена з відновлювальних джерел енергії, %;
- частка теплової енергії, яка вироблена з використанням скидної теплової енергії, %;
- частка теплової енергії, яка вироблена в результаті комбінованого виробництва теплової та електричної енергії, %;
- рівень інтеграції теплових мереж, %;
- частка централізованого тепlopостачання, %.

До показників ефективності виробництва теплової енергії відносяться [29]:

- питомі витрати умовного палива на виробництво теплової енергії, кг у.п./Гкал;
- питома вартість виробництва теплової енергії, грн/Гкал (в цінах на час розроблення схеми);
- чисельність виробничого персоналу на 1 тис. Гкал, відпущеної з джерел теплової енергії.

Показники ефективності транспортування теплової енергії включають:

- втрати теплової енергії в мережах, %;

- питомі витрати води на підживлення теплових мереж, %;
- чисельність виробничого персоналу, безпосередньо залученого до технологічного процесу транспортування теплової енергії на 10 км теплових мереж;
- питомі витрати електроенергії на транспортування 1 Гкал теплової енергії, кВт•год/Гкал;
- питома вартість транспортування теплової енергії, грн/Гкал (в цінах на час розроблення схеми).

До показників надійності теплопостачання відносяться наступні [29]:

- відсоток ділянок трубопроводів теплових мереж від загального, розрахунковий строк служби яких закінчився, %;
- питома пошкоджуваність трубопроводів теплових мереж яка розраховується за окремими зонами застосування системи теплопостачання, кількість пошкоджень на рік на 1 км теплових мереж;

Показники якості теплопостачання включають наступні [29]:

- відповідність (кореляція) між споживанням палива і температурою зовнішнього повітря;
- загальна кількість незапланованих (аварійних) припинень транспортування теплової енергії з вини теплопостачальної організації, тривалістю понад 6 годин;
- загальна тривалість незапланованих (аварійних) припинень транспортування теплової енергії з вини теплопостачальної організації, тривалістю менше 6 годин;
- кількість зареєстрованих звернень споживачів з питань невідповідності якості постачання теплової енергії / надання послуги з постачання теплової енергії умовам договорів.

До показників екологічності системи теплопостачання відносяться [29]:

- питомі викиди оксидів азоту (NO_x) на 1 ГДж відпущеної теплової енергії;
- питомі викиди діоксиду сірки (SO_2) на 1 ГДж відпущеної теплової енергії;

- питомі викиди речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом (пилу) на 1 ГДж відпущеної теплової енергії;
- питомі викиди парникових газів (діоксиду вуглецю CO_2 , оксиду азоту (I) N_2O і метану CH_4) у перерахунку на еквівалент діоксиду вуглецю на 1 ГДж відпущеної теплової енергії;
- питомі викиди оксиду вуглецю (CO) на 1 ГДж відпущеної теплової енергії.

Усі ці показники, разом з фінансовими показниками, використовуються для аналізу витрат і вигід при порівнянні альтернативних сценаріїв та вибору рекомендованого сценарію розвитку систем тепlopостачання.

2.2. Заходи щодо підвищення енергоефективності централізованого тепlopостачання житлових будівель

З урахуванням зроблених оцінок роботі [33, 42] для підвищення енергоефективності, екологічності тепlopостачання, а також створення децентралізованих енергетичних систем розглядалися наступні критерії:

- скорочення споживання енергоресурсів, які не можуть бути отримані на території громади, тобто підвищення енергетичної незалежності громади;
- використання місцевих паливно-енергетичних ресурсів, нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії;
- економічна ефективність використання енергетичного устаткування (капіталовкладення у створення, витрати на паливно-енергетичні ресурси, що використовуються, собівартість електричної та теплової енергії, що генерується, термін окупності, наявність механізмів підтримки);
- екологічна ефективність (зменшення споживання викопного палива, застосування безвуглецевих та низьковуглецевих технологій, зменшення викидів, скидів, утворення твердих відходів, екологічні обмеження);
- енергетична ефективність (підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, використання вторинних енергоресурсів);

– швидкість будівництва або монтажу.

Результати такої оцінки представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Переваги технологій електро- та тепlopостачання, які можуть бути використані для підвищення енергетичної незалежності окремих територіальних громад [2]

Технологія тепло- та електрогенерації	Скорочення зовнішнього постачання енергоресурсів	Використання місцевих або відновлюваних джерел енергії	Економічна ефективність	Швидкість будівництва або монтажу	Енергетична ефективність	Екологічна ефективність
СЕС	+	+	+	+		+
дСЕС	+	+	+	+		+
ВЕС	+	+	+/-	+		+
Газопоршневі установки	+			+	+	+/-
Газотурбінні установки	+			+	+	-
Дизель-генераторні установки	+			+		-
Акумуляуючі пристрої	+		+/-	+		+/-
Міні-ГЕС	+	+				+
Використання біопалив	+	+	+			+/-
Когенерація та тригенерація	+		+		+	+
ТН ґрунтові	+	+	+/-		+	+
ТН повітряні	+	+	+/-	+	+	+
ТН водяні	+	+	+/-		+	+
Електрокотли	+			+		+

«+/-» технологія має переваги та недоліки в категорії

«-» технологія має гірші показники, ніж широко розповсюджена

При розгляді інновацій в галузі енергопостачання, тепlopостачання та охолодження по декількох напрямках перспективними визнані наступні заходи [2]:

а) впровадження низькотемпературних теплових насосів – вони дозволяють ефективно передавати теплову енергію від багатьох різних

відновлювальних джерел енергії, включаючи зовнішнє повітря, підземне тепло, воду, або відпрацьоване тепло від промислових джерел, до внутрішніх приміщень або процесів, де потрібне тепло;

б) впровадження гібридних теплових насосів – які поєднують тепловий насос із резервною технологією генерації тепла (наприклад, газовим котлом), яка постачає тепло, коли умови для роботи теплового насоса не є оптимальними (екстремально холодна погода або високі ціни на електроенергію).

в) низькотемпературне накопичення теплової енергії – воно дозволяє відділяти потреби в опаленні та охолодженні від споживання електроенергії, а також системи теплового акумулювання дозволяють інтегрувати до системи тепlopостачання більшу частку змінної відновлюваної генерації, такої як сонячна та вітрова енергія, вони також можуть допомогти збалансувати сезонний попит;

г) середньо- та високотемпературне накопичення теплової енергії – надає аналогічні переваги, як і низькотемпературне (наприклад, забезпечує гнучкість та знижує витрати), однак високотемпературне зберігання особливо корисне для розумної електрифікації опалення, оскільки дозволяє зберігати теплову енергію високого температурного потенціалу та має менші питомі об'єми, що корисне при проблемах з розміщенням;

д) системи тепlopостачання четвертого покоління – вони мають значні переваги, наприклад, вони призводять до низького загального споживання енергії та додають гнучкості енергосистемі, порівняно з системами попереднього покоління, вони зменшують втрати в мережі на 6%, споживання первинної енергії на 4,5% та загальні витрати на 2,7%;

ж) системи тепlopостачання п'ятого покоління – вони можуть пропонувати переваги, що перевищують можливості систем четвертого покоління, особливо коли потреби в опаленні та охолодженні схожі, вони підвищують ефективність, заохочують до більшого використання відновлюваних джерел енергії та можуть знизити загальні витрати;

з) Інтернет речей для розумної електрифікації – ця технологія є ключовим інструментом для забезпечення розумного об'єднання секторів електропостачання та теплопостачання, його використання допоможе заощадити енергію, зменшити витрати та викиди вуглецю, а також максимізувати використання відновлюваних джерел енергії завдяки автоматизації;

і) штучний інтелект для прогнозування потреб в опаленні та охолодженні – він додає інтелект до даних та зв'язку між різними компонентами Інтернету речей, завдяки кращому прогнозуванню потреб в опаленні та охолодженні, а потім контролю навантаження для оптимізації їхньої роботи, штучний інтелект забезпечує більшу гнучкість енергетичної системи та сприяє ширшому використанню змінних відновлюваних джерел енергії;

и) блокчейн для здійснення транзакцій – вони можуть допомогти вирішити проблеми надійності даних, знизити транзакційні витрати, зменшити кількість помилок та шахрайства, а також розширити можливості домогосподарств та енергетичних спільнот, у поєднанні зі смарт-контрактами блокчейн-системи можуть автоматизувати процеси, допомагаючи інтегрувати відновлювані джерела енергії в енергетичну систему та підвищити її гнучкість;

й) цифровізація як фактор гнучкості – це ключова інновація, яка може допомогти будівлям знизити витрати на енергію та забезпечити гнучкість енергомережі для максимального використання відновлюваних джерел.

Для напрямку планування та експлуатація системи централізованого теплопостачання пропонуються наступні заходи [2]:

а) комплексне планування для міст – воно може значно зменшити інвестиції, необхідні для створення систем енергопостачання, визначення синергії між різними температурними потоками та джерелами (такими як промислове тепло, стічні води, відпрацьоване повітря або відновлювальна енергія) максимізує ефективність, як і оптимізує використання спільних акумуляційних установок, які заряджаються або розряджаються різними типами користувачів.

б) розробка схем оптимізації систем опалення та охолодження – вони можуть бути надзвичайно корисним інструментом для розуміння використання енергії в місті, карти опалення та охолодження можуть допомогти сформувати повну картину попиту і таким чином інформувати про плани використання енергії та інвестицій в інфраструктуру, можуть допомогти визначити оптимальне розміщення та параметри обладнання, оптимізувати загальні експлуатаційні витрати;

в) розумна робота з тепловою інерцією – теплова інерція будівель може допомогти зміщувати попит на енергію в часі та вирівнювати коливання попиту, це економить енергію та зменшує пікове навантаження, забезпечуючи при цьому той самий рівень комфорту, теплова інерція може зменшити рахунки за енергію, оскільки попит переміщується на дешевші позапікові години;

г) розумна робота із сезонним акумулюванням тепла – сезонні накопичення дозволяють задовольнити сезонний попит на опалення або охолодження за допомогою відновлюваних джерел енергії, вироблених місяцями раніше, воно зазвичай вимагає значного планування та координації між потребами кінцевого споживача та енергетичними ресурсами, і воно економічно доцільне лише за низьких витрат, враховуючи, що системи накопичення заряджаються або розряджаються рідко;

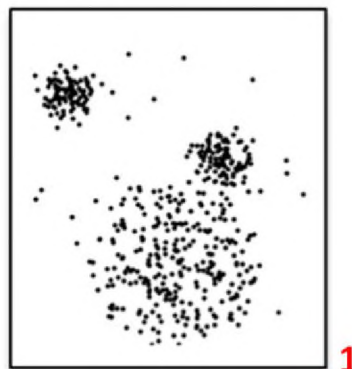
д) поєднання потреб в опаленні та охолодженні в централізованих системах – глобальний попит на охолодження зростає через зміну клімату та підвищення стандартів якості повітря в ефективних будівлях, а інтеграція охолодження в існуючі мережі централізованого теплопостачання допоможе задовольнити цей попит, а також зробить мережі більш ефективними та забезпечить більшу інтеграцію відновлюваної енергії.

2.3. Моделі і алгоритми визначення показників централізованого теплопостачання житлових будівель

Для визначення показників централізованого теплопостачання житлових будівель та раціоналізації структурних і параметричних рішень застосовується п'ятиетапний методологічний підхід, який враховує оцінки можливого залучення до генерації теплової енергії відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії. Додатковою ціллю такого підходу є визначення нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, на визначеній території, які можуть постачати теплову енергію до теплових мереж оскільки ця енергія є більш економічно сталою, ніж тепло, що постачається від традиційних джерел зі спалюванням викопного палива. Математичним описом цього дослідження є задача мінімізації загальної вартості теплопостачання (з урахуванням плати за викиди).

Загальна процедура визначення показників централізованого теплопостачання складає п'ять основних кроків (див. рис. 1) [1].

На кроці 1 здійснюється оцінка попиту на теплову енергію для житлових будівель та будівель сфери послуг у поточному та реконструйованому сценаріях з прив'язкою до місцевості (мапи населеного пункту). Це робиться на максимально доступному рівні просторової деталізації, тобто на основі даних щодо розташування будівель, їх теплових характеристик, перепису населення тощо (див. рис. 2.1). Для цього використовуються наявні статистичні дані, проектні дані будівель, дані теплопостачальних організацій тощо.



1

Рисунок 2.1 – Оцінка попиту на теплову енергію з прив'язкою до місцевості

На кроці 2 здійснюється групування (кластеризація) попиту на теплову енергію застосовуючи алгоритм кластеризації на основі щільності споживання. На цьому етапі області з близькими значенням щільності споживання теплової енергії та/або ті, що знаходяться близько одна до одної, групуються для подальшого оцінювання придатності підключення до централізованого теплопостачання (див. рис. 2.2). Цей крок дозволяє визначити найбільш щільні області (у відносно місцевих характеристиках) та у подальшому зменшити обчислювальні зусилля оптимізації шляхом зменшення кількості вузлів попиту (об'єднання навантаження до окремих вузлів).

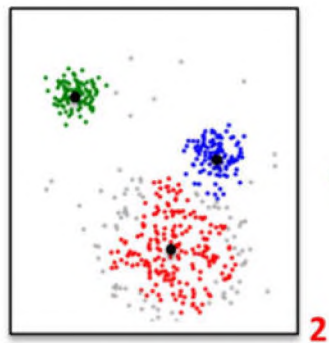


Рисунок 2.2 – Кластеризація попиту на теплову енергію

На кроці 3 картографуються усі існуючі джерела теплової енергії та можливі відновлювані та надлишкові джерела тепла, а також оцінюється кількість теплової енергії, що може бути отримана від них (див. рис. 2.3).

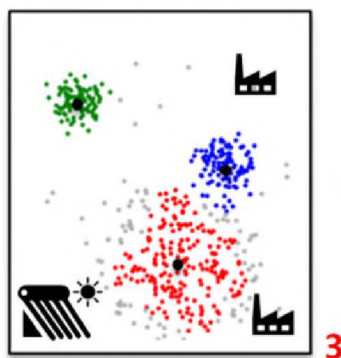


Рисунок 2.3 – Картографування існуючих джерел теплової енергії та можливих відновлювальних та надлишкових джерел тепла

На кроці 4 спочатку будується віртуальний граф постачання теплової енергії. Для створення такого графа використовується алгоритм тріангуляції, при

цьому вузлами такого графа є центроїди визначених кластерів попиту на тепло та джерел тепла (див. рис. 2.4).

Ребра графа можуть пов'язувати джерела теплової енергії з кластерами споживачів, а також кластери з іншими кластерами та джерела з іншими джерелами. Це робиться для того, щоб тепло від джерела, яке перевищує попит кластера, потенційно могло бути передано до сусідніх кластерів, і щоб кілька джерел могли бути потенційно використані разом для задоволення потреб у теплі одного кластера.

Потім на кроці 4 застосовується алгоритм маршрутизації для перетворення лінійних з'єднань (ребер графа), які визначені, на більш реалістичне можливе прокладання теплових мереж вздовж вулиць (див. рис. 2.5).

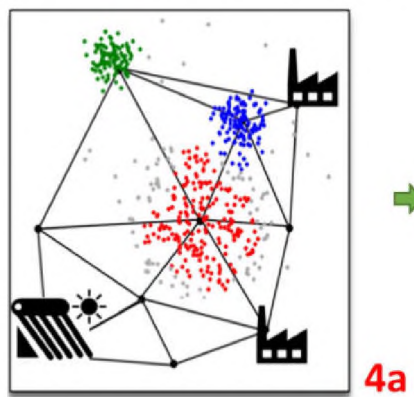


Рисунок 2.4 – Створення віртуального графа постачання теплової енергії

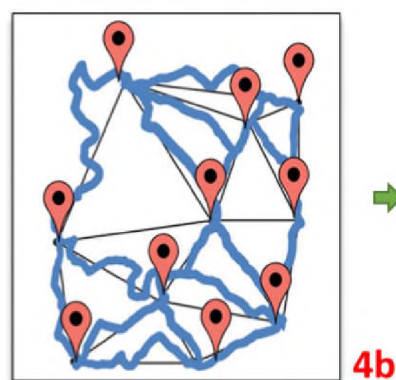


Рисунок 2.5 – Маршрутизація передавання теплової енергії

На кроці 5 здійснюється оцінка потенціалу та порівняння варіантів створення системи централізованого теплопостачання. Враховуючи витрати, пов'язані з будівництвом та експлуатацією кожного джерела тепла та кожною конфігурацією теплових мереж, визначається найкраща конфігурація з метою мінімізації загальних витрат на постачання тепла, тобто суми витрат на виробництво тепла, транспортування та розподіл тепла. Порівнюючи різні конфігурації централізованого теплопостачання з різними потенційними джерелами тепла та рішеннями, які зараз наявні для забезпечення попиту, для кожного кластера споживання визначається, чи можна задовольнити таку ж кількість поставленого тепла будь-яким альтернативним рішенням або існуюча система є більш економічно ефективним способом, ніж модернізована система централізованого теплопостачання. Результатом кроку 5 є визначення раціональної структури централізованого теплопостачання: кластери попиту на тепло – теплові мережі – джерела тепла (див. рис. 2.6).

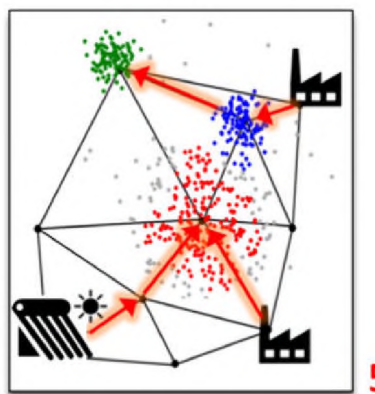


Рисунок 2.6 – Визначення найкращої конфігурації

Особлива увага приділяється двом із п'яти основних кроків, що складають метод, а саме:

- побудова віртуального графа енергії шляхом застосування алгоритмів тріангуляції та маршрутизації, що з'єднують точки попиту з доступними джерелами тепла;

– створення та застосування моделі лінійної оптимізації для розв'язання віртуального графа енергії шляхом ідентифікації теплових потоків, що мінімізують загальні витрати на постачання тепла.

Просторове представлення потенційної мережі централізованого теплопостачання, що складається з вузлів та сполучних ребер, є необхідним кроком даної методології та виконується щоб уникнути детального мережевого моделювання. Це вносить деяку похибку у розрахунки.

З логічної точки зору, п'ять методологічних кроків можна згрупувати в три основні фази: а) відображення існуючих споживачів, потреб у теплі та можливих джерел тепла; б) створення віртуального графа постачання теплової енергії; в) фаза побудови раціональної схеми системи теплопостачання. Можна визнати, що етап відображення та створення графа є попередніми фазами, що передують процесу побудови раціональної схеми. Вони є необхідними для оцінки вартості елементів системи для порівняння варіантів між собою. Вузли графа, складаються з кластерів потреб у теплі та джерел тепла з просторовими координатами, за допомогою яких можна визначити довжину, втрати тепла та вартість з'єднань між вузлами графіка.

Результатом методології є визначення техніко-економічного потенціалу централізованого теплопостачання з високою просторовою роздільною здатністю на мапі населеного пункту. Логічна послідовність даного методологічного підходу більш детально представлена на схемі рис. 2.7.

Архітектура моделі для визначення показників централізованого теплопостачання житлових будівель складається з чотирьох блоків: блоку вхідних даних, блоку попередньої обробки даних, блоку оптимізації та блоку представлення результатів розрахунку.

Склад блоку вхідних даних наступний:

– дані щодо попиту на теплову енергію для житлових будівель та будівель сфери послуг у поточному або реконструйованому сценаріях з прив'язкою до місцевості (мапи населеного пункту);

– ціни на обладнання, паливо, будівельно-монтажні роботи тощо;

- дані щодо існуючих джерел теплової енергії та можливих до застосування відновлюваних та надлишкових джерел тепла з прив'язкою до місцевості та попередньої та даними щодо потужності та ефективності;
- визначені діапазони можливих змін параметрів системи централізованого теплопостачання (температурні графіки, компоненти та матеріали, що застосовуються);
- апроксимаційні залежності вартості транспортування теплоносія як функція кількості поставленої енергії та довжини шляхів.

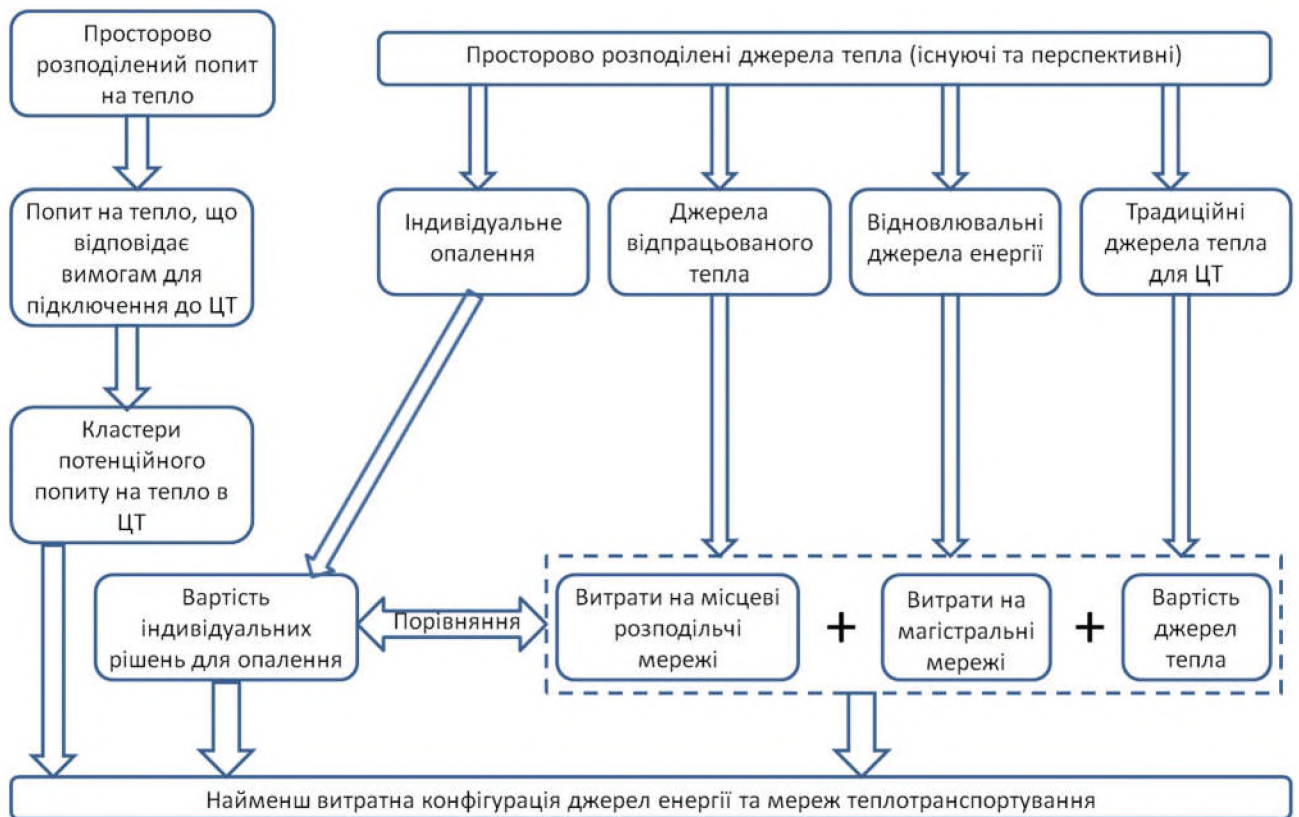


Рисунок 2.7 – Послідовність визначення найменш витратної конфігурації системи централізованого теплопостачання

Блок попередньої обробки даних включає наступні складові:

- визначення потреби в теплі, яку технічно може задовольнити ЦТ (одноквартирні будинки та багатоквартирні будинки з встановленою централізованою системою розподільчого опалення);

- кластеризація попиту на тепло (агрегація районів з високою щільністю теплопостачання);
- оцінка техніко-економічних параметрів розподілу теплової енергії у кожному визначеному кластері;
- визначення параметрів теплової енергії яку можна отримати з існуючих джерел теплової енергії та доступних відновлюваних джерел та джерел відпрацьованого тепла;
- здійснення тріангуляції та маршрутизації для створення віртуального графа постачання теплової енергії.

Блок оптимізації включає наступні складові:

- визначення обмежень (енергетичний баланс у вузлах, задоволення потреб у теплі, доступність тепла тощо);
- розрахунок змінних які залежать від обраних рішень;
- розрахунок вихідних показників елементів системи теплопостачання (витрати, ефективність тощо);
- визначення цільової функції мінімізації витрат на створення та функціонування системи теплопостачання.

У блоці представлення результатів розрахунку здійснюється картування теплової мережі та визначення загального потенціалу ЦТ та внесок кожного конкретного джерела тепла.

Техніко-економічні розрахунки варіантів розвитку централізованого теплопостачання виконуються у відповідності з «Методикою розроблення схем теплопостачання населених пунктів України».

Згідно з методикою капітальні інвестиції [29] – це сума усіх витрат, які мають місце на всіх етапах будови системи теплопостачання, від проектування до введення в експлуатацію нового об'єкту (модернізованого об'єкту) або сукупності об'єктів, що включає вартість проектних робіт, вартість нових побудованих об'єктів або збільшення вартості внаслідок модернізації об'єктів (джерел теплової енергії, систем транспортування, систем розподілу теплової енергії, систем акумулювання, систем управління тощо), плату за приєднання до

систем транспортування та/або розподілу паливно-енергетичних ресурсів, витрати на пусконаладжувальні роботи та введення в експлуатацію тощо.

Чиста річна економія розраховується як сума економії витрат на паливно-енергетичні ресурси та зміни (з відповідним знаком) витрат на технічне обслуговування, операційну діяльність та інші платежі, які є наслідком реалізації проекту, та віднімання витрат, які пов'язані з фінансуванням цього проекту [29]:

$$S_n = \sum_{i=1} [\Delta B_{n,i} \times EP_{n,i}] \pm \Delta C_n^m \pm \Delta C_n^o \pm \Delta C_n^{ad} - C_n^f,$$

де $\Delta B_{n,i}$ – обсяг економії i -го паливно-енергетичного ресурсу у натуральних показниках у році n з початку проекту;

$EP_{n,i}$ – вартість i -го паливно-енергетичного ресурсу у році n ;

ΔC_n^m – зміна витрат на технічне обслуговування у році n , включаючи річні витрати на перевірку, наладку, очищення, планово-профілактичний ремонт тощо;

ΔC_n^o – зміна витрат на операційну діяльність у році n ;

ΔC_n^{ad} – зміна витрат на страхування, податки (включаючи екологічні), інші постійні плати у році n ;

C_n^f – витрати на обслуговування запозичень (сплата відсотків та інших платежів, крім погашення основної суми запозичень), які пов'язані з фінансуванням відповідного проекту у році n .

Для показників зміни витрат ($\pm \Delta C_n^x$) додатне значення приймається в разі зменшення відповідних витрат, а від'ємне значення – в разі збільшення відповідних витрат внаслідок реалізації проекту.

Чиста річна економія, яка виникає при реалізації нової схеми теплопостачання, визначається як сума чистих річних економій від реалізації окремих проектів, які входять до відповідного сценарію схеми теплопостачання.

Чиста приведена вартість розраховується як сума прогнозних грошових потоків (чистих річних економій за вирахуванням капітальних інвестицій) розробленого проекту на всьому горизонті планування (тривалості існування),

які приведені до часу розробки схеми теплопостачання шляхом використання методу дисконтування [29]:

$$NPV = \sum_{n=1}^{\tau} \left[\frac{S_n - I_n}{(1 + R_r)^n} \right] - I_0$$

де I_0 – капітальні інвестиції у проект у нульовому році;

I_n – капітальні інвестиції на реалізацію проекту та/або заміну (капітальний ремонт, модернізацію) матеріальних активів, які відносяться до проекту, у році n ;

S_n – чиста річна економія у році n ;

τ – тривалість існування проекту (згідно з методикою 20 років);

R_r – реальна ставка дисконтування, яка визначається як:

$$R_r = \frac{R_b - R_i}{1 + R_i}$$

де R_b – номінальна ставка дисконтування (облікова ставка Національного Банку України), яка діє на час розроблення схеми теплопостачання;

R_i – рівень інфляції на рік розроблення схеми теплопостачання.

Для усього сценарію схеми теплопостачання чиста приведена вартість визначається як сума чистих приведених вартостей окремих проектів, що входять до відповідного сценарію схеми теплопостачання [29].

Внутрішня норма рентабельності (IRR) визначається як ставка дисконтування, при якій чиста приведена вартість інвестиційного проекту на всьому горизонті планування рівна нулю ($NPV = 0$).

Для усього сценарію схеми теплопостачання внутрішня норма рентабельності визначається на основі суми майбутніх грошових потоків (чистих річних економій за вирахуванням капітальних інвестицій за кожним періодом протягом горизонту планування) для окремих проектів, що входять до відповідного сценарію схеми теплопостачання.

Дисконтований термін окупності (DPP) визначається як термін, за який сумарний грошовий потік (сума чистих річних економій, за вирахуванням капітальних інвестицій, з наростаючим підсумком) інвестиційного проекту

досягає нульового значення. Він вимірюється у роках. Дробова частина значення дисконтованого терміну окупності визначається на основі кумулятивного грошового потоку проекту методом лінійної інтерполяції між роком з від'ємним значенням грошового потоку та наступним за ним роком з додатнім значенням грошового потоку [29].

Для усього сценарію схеми теплопостачання дисконтований термін окупності визначається на основі підсумовування грошового потоку окремих проектів, що входять до відповідного сценарію схеми теплопостачання.

Наразі розроблена значна кількість програмних засобів які дозволяють проектантам або експлуатаційникам моделювати різні аспекти або структурні елементи систем централізованого теплопостачання. Так декілька програмних засобів дозволяють імітувати рух енергії від її первинного джерела до моменту її перетворення на корисну енергію та передачі кінцевому споживачу. До них відносяться наступні:

- EnergyPLAN – програма використовується для імітації роботи різних секторів у національних енергетичних системах;
- EnergyPRO – використовується для аналізу енергетичних проектів з екологічної та фінансової точки зору, що допомагає у прийнятті рішень при розробці нових енергетичних установок;
- KOPTI – застосовується для оцінки вироблення енергії в місці, де планується запровадити районне теплопостачання;
- TIMES Local – програма пропонує рішення для підготовки довгострокових енергетичних проектів, вона допомагає економічно ефективно планувати екологічно стійкі енергетичні системи.

Також важливим є термодинамічне моделювання теплових мереж, їх гідравлічних та термодинамічних характеристик, а також різних рівнів температури відновлюваних джерел енергії, які необхідні для подачі в теплову мережу. Прикладом такої програми є програма Termis яка моделює роботу системи районного теплопостачання шляхом імітації робочих умов на основі даних мережі в режимі реального часу.

В рамках проекту IEA DHC Annex TS1_була розроблена програма Easy District Analysis. Вона заснована на оцінці 12 факторів і призначена для аналізу енергетичних, економічних та екологічних аспектів низькотемпературних енергетичних систем у порівнянні з іншими системами теплопостачання. В ній можна виконувати аналіз цілих теплових районів.

Розроблене за фінансування ЄС програмне забезпечення THERMOS призначене для оптимізації процесів планування місцевих мереж районного енергопостачання та генерального планування сталого енергопостачання, щоб полегшити впровадження нових низьковуглецевих систем опалення та охолодження, а також швидку модернізацію, реконструкцію та розширення існуючих систем. Оптимальні рішення THERMOS визначає відповідно до критеріїв, обраних користувачем, та заданої проблеми планування теплової енергії, таких як витрати, цілі скорочення викидів, тип технології, необхідні підключення або джерела.

Серед інших корисних програмних засобів можна виділити наступні: District Energy Concept Adviser, за допомогою якого можна порівнювати різні енергетичні концепції; EME Forecast – модель тимчасового ряду, за допомогою якої можна прогнозувати теплові та електроенергетичні навантаження; Exergy Pass Online – аналітичний інструмент для визначення ексергії споживаних будинками ресурсів.

Більш повний перелік програмних засобів та області їх застосування наведені у таблиці 2.2. Інші програмні засоби, які безпосередньо не вирішують задачі математичної оптимізації та призначені для спеціалізованого аналізу систем централізованого енергопостачання, представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 – Інструменти числового моделювання та області їх застосування [2]

Область застосування	Програмний засіб
Дослідження профілів попиту користувачів	EnergyPlus
Динамічні теплогідравлічні характеристики системи	TRNSYS
	Modelica
	MATLAB Simulink
Експлуатація та моніторинг	TERMIS
	NetSim
Техніко-економічний аналіз	energyPRO
	IPSEpro
	RETScreen
	Homer
	EnergyPLAN
Аналіз політики	MiniCam
	LEAP
	NEMS
	PRIMES
Інтеграція та оптимізація відновлюваної енергетики	SimREN
	DHNx
Довгострокове планування та моделювання енергетичної системи	RAMSES

Таблиця 2.3 – Програмні засоби для спеціалізованого аналізу систем централізованого енергопостачання [2]

Програмний засіб	Область застосування
MODEST	Капітальні та експлуатаційні витрати на енергопостачання та управління попитом
STEFaN	Економічно ефективне управління комбінованими тепловими та електричними навантаженнями
DHAT Comsof Heat	Оцінка доцільності та скринінг проектів централізованого енергопостачання, планування та проектування централізованого енергопостачання на основі ГІС
THERMOS	Оцінка доцільності будівництва та просторового планування систем централізованого теплопостачання
Urbio	Визначення точок викидів CO ₂ . Кількісна оцінка ринкового потенціалу.

2.4. Вихідні дані для досліджень в умовах міста Миколаїва

Згідно з нормативними документами для виконання розрахунків визначені необхідні кліматичні умови для м. Миколаїв, які представлені у додатках у таблицях Д.1...Д.5.

Для порівняння техніко-економічних показників використовувалися дані щодо діючих тарифів на природний газ, теплову енергію, електричну енергію та структура витрат на генерацію теплової енергії ОКП «Миколаївоблтеплоенерго», якій здійснює тепlopостачання території обраної для аналізу.

Згідно з рішенням Миколаївської міської ради № 1793 від 23 жовтня 2024 р. «Про встановлення ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» двоставкових тарифів на теплову енергію, послугу з постачання теплової енергії та транспортування теплової енергії ПрАТ «Миколаївська ТЕЦ» тепловими мережами підприємства» встановлені наступні тарифи на виробництво, транспортування теплової енергії без урахування витрат на утримання ЦТП, постачання без урахування витрат на утримання ІТП [38]:

а) для потреб населення:

- умовно-змінна частина – у розмірі 1157,28 грн/Гкал (без ПДВ);
- умовно-постійна частина – у розмірі 193118,61 грн/(Гкал/год) (без ПДВ);
- в одноставковому вираженні – 2792,81 грн/Гкал (без ПДВ);

б) для потреб бюджетних установ та організацій:

- умовно-змінна частина – у розмірі 2276,23 грн/Гкал (без ПДВ);
- умовно-постійна частина – у розмірі 200 183,68 грн/(Гкал/год)

(без ПДВ);

- в одноставковому вираженні – 3952,85 грн/Гкал (без ПДВ);

в) для потреб інших споживачів:

- умовно-змінна частина – у розмірі 2279,68 грн/Гкал (без ПДВ);
- умовно-постійна частина – у розмірі 194458,56 грн/(Гкал/год) (без ПДВ);
- в одноставковому вираженні – 975,30 грн/Гкал (без ПДВ);

г) для потреб релігійних організацій:

- умовно-змінна частина – у розмірі 2282,11 грн/Гкал (без ПДВ);
- умовно-постійна частина – у розмірі 200893,58 грн/(Гкал/год) (без ПДВ);
- в одноставковому вираженні – 3982,51 грн/Гкал (без ПДВ).

Тієї ж постановою затверджена структура двоставкових тарифів на теплову енергію та послугу з постачання теплової енергії ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» при виробництві, транспортуванні теплової енергії без урахування витрат на утримання ЦТП, та постачання без урахування витрат на утримання ІТП. Ця структура представлена у додатках у таблиці Д.6.

Згідно з рішенням Миколаївської міської ради № 895 від 25 червня 2025 р. «Про внесення змін та доповнення до рішення виконавчого комітету Миколаївської міської ради від 23.10.2024 № 1793 «Про встановлення ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» двоставкових тарифів на теплову енергію, послугу з постачання теплової енергії та транспортування теплової енергії ПрАТ «Миколаївська ТЕЦ» тепловими мережами підприємства»» затверджена структура тарифів на виробництво теплової енергії для населення, яка представлена у додатках у таблиці Д.7 [38].

Згідно з рішенням Миколаївської міської ради № 775 від 26 липня 2019 р. «Про внесення змін до рішення виконавчого комітету Миколаївської міської ради від 14.06.2019 № 600 «Про погодження температурних графіків центрального регулювання систем теплопостачання ОКП «Миколаївоблтеплоенерго»» затверджені температурні графіки центрального регулювання систем теплопостачання ОКП «Миколаївоблтеплоенерго», які представлені у додатках таблиці Д.8 [37].

Вартість електроенергії для бізнесу в Україні складається із наступних складових [46]:

- ринкової вартості електроенергії, яка визначається щодобово державною компанією "Оператор ринку" за підсумками торгів на енергоринку;
- вартості послуг постачальника електроенергії, тобто, його маржі, яка визначається кожним постачальником електроенергії та зазвичай становить кілька відсотків від ринкової вартості;

– тарифу оператора системи передачі електроенергії, який встановлюється НКРЕКП для єдиного оператора "Укренерго" (дані щодо тарифу у 2025 р. наведені у додатках у таблиці Д.9);

– тарифу оператора системи розподілу електроенергії, який встановлюється НКРЕКП для кожної енергорозподільчої компанії (дані щодо тарифу у 2025 р. для Миколаївської області наведені у додатках у таблиці Д.10).

Динаміка ринкових цін на електроенергію у грудні 2024 р. ілюструється графіком представленим на рисунку Д.1 (з початку 2025 р. такі дані не публікуються).

Постачальники газу для промислових підприємств та інших побутових споживачів диференціюють свої ціни, встановлюючи різну вартість газу в залежності від умов оплати – здійснюється передоплата або оплата за фактом споживання. Також деякі постачальники встановлюють окремі ціни для установ, що фінансуються з держбюджету, і релігійних установ. Крім того, вартість газу може залежати від обсягів його постачання. Більшість постачальників газу для промисловості не оприлюднюють свої ціни, вони є результатом перемовин між споживачем та постачальником.

Тільки ТОВ ГК "Нафтогаз України" оприлюднює тарифи на газ для споживачів з рекомендованим обсягом споживання до 10000 м³/міс. у листопаді 2025 р. він становить 27150,00 грн/тис. м³ з ПДВ. Також додатково до ціни газу необхідно сплатити вартість замовленої потужності (транспортування магістральними газопроводами) 662,6004 грн за 1000 м³ (з ПДВ) [49]. При більших обсягах споживання тариф також встановлюється індивідуально.

2.6. Висновки до розділу 2

1. Обґрунтовано перелік показників які характеризують стан системи теплопостачання населеного пункту та надають можливість оцінювати варіанти розвитку системи централізованого теплопостачання.

2. Представлено методологічний підхід до визначення техніко-економічного потенціалу централізованого теплопостачання та порівняння варіантів розвитку системи централізованого теплопостачання житлових будівель з урахуванням додаткової цілі щодо використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

3. Визначені вихідні дані для досліджень в умовах міста Миколаїва за відповідними нормативними документами за кліматичними та економічними ознаками.

РОЗДІЛ 3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ К ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРУ

3.1. Характеристика житлового району та визначення потреб у тепловій енергії

Оскільки Директива 2010/27/ЄС «Про енергоефективність» та Закон України «Про енергетичну ефективність» встановлюють вимоги щодо визначення «Ефективна система централізованого теплопостачання» розглянуто можливості щодо виконання цих вимог на прикладі міського району Ліски-Намив м. Миколаєва. Загальна схема обраного району представлена на рисунку 3.1, а 3d візуалізація – на рисунку 3.2.

Вимоги які висуваються у нормативних документах до ефективної системи централізованого теплопостачання наступні. Вона повинна використовувати при експлуатації [29]:

- мінімум 50% відновлюваної енергії,
- або мінімум 50% скидної (відпрацьованої) теплової енергії,
- або мінімум 75% теплової енергії, виробленої у процесі когенерації,
- або мінімум 50% сукупності такої енергії та теплоти.

Оскільки нормативними документами не визначено, що таке співвідношення повинно виконуватися постійно, розглядається виконання цих вимог у річному балансі роботи системи централізованого теплопостачання.

Обраний район Ліски-Намив має квартали з різними видами забудови та інші ділянки різного цільового призначення. На рисунку 3.3 представлено генеральний план району Намив-Ліски (з генерального плану міста Миколаїв) в якому визначені призначення ділянок та плани щодо майбутньої забудови району. Як можна побачити у генеральному плані не передбачені земельні ділянки під розміщення устаткування для використання відновлювальних джерел енергії. Існуючі вільні території призначені під забудову, житлову та промислову.



Рисунок 3.1 – Схематичний план району Намив-Ліски



Рисунок 3.2 – 3d візуалізація забудови району Намив-Ліски



Рисунок 3.3 – Генеральний план району Намив-Ліски (з генерального плану міста Миколаїв)

Г-2 Ділова громадська зона центрів районного значення; Г-5 Громадська лікувальна зона; Ж-1 Житлова зона садибної забудови; Ж-1п Житлова зона перспективної садибної забудови; Ж-4 Житлова зона мішаної житлової забудови середньої поверховості та громадської забудови; Р-2 Рекреаційна зона активного відпочинку; Р-3 Рекреаційна зона озелених територій загального користування; Р-5 Рекреаційно-розважальна зона; ТР-13 Зона залізниці; ТР-1в Зона інфраструктури водного транспорту; КС-5 Зона розміщення об'єктів 5 класу санітарної класифікації; В-2 Зона підприємств II класу шкідливості; В-4 Зона підприємств IV класу шкідливості; С-4 Зона спеціальних об'єктів

Топографічний план району Намив-Ліски для визначення висотного положення вузлів теплових мереж представлено на рисунку 3.4.

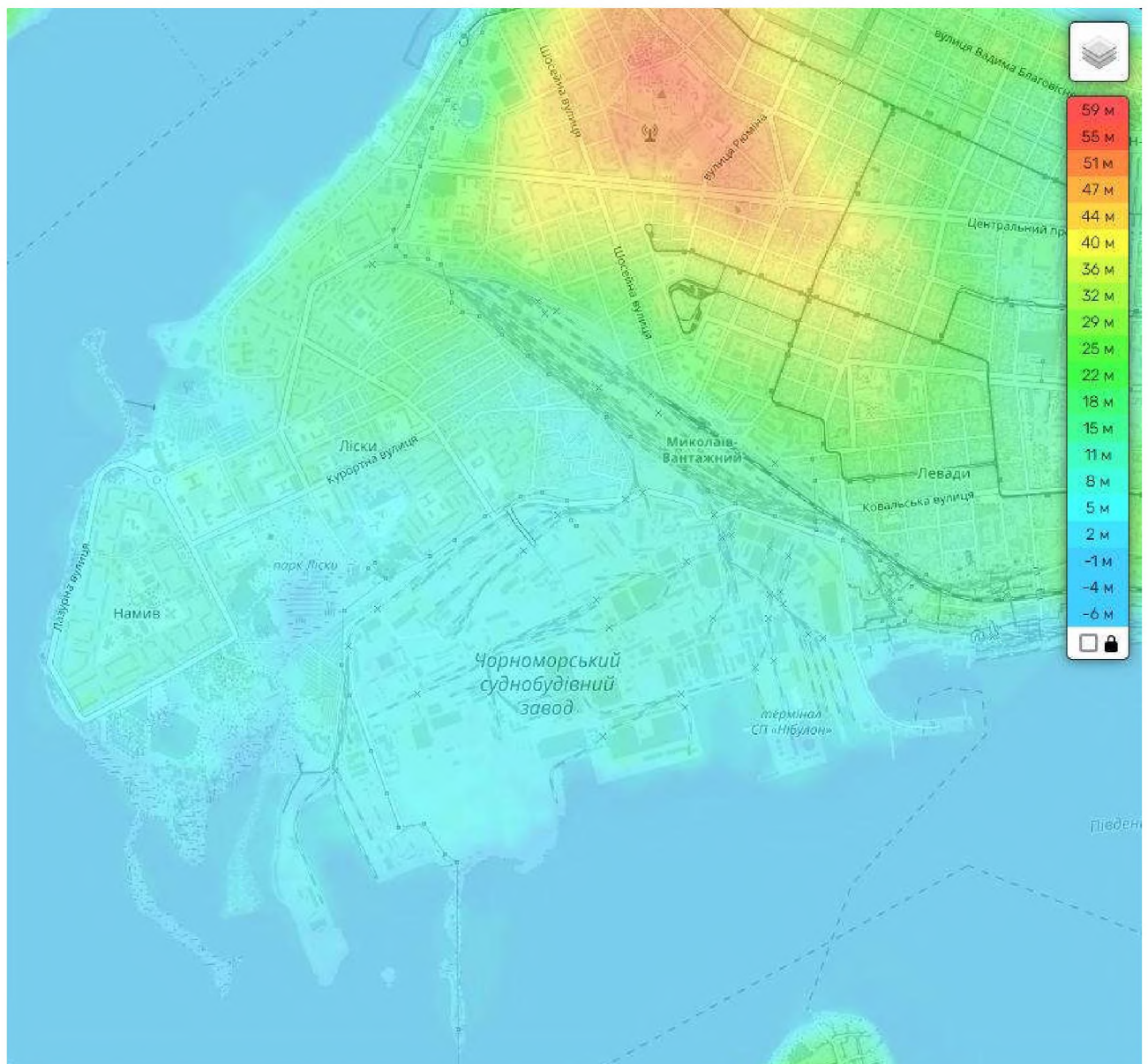
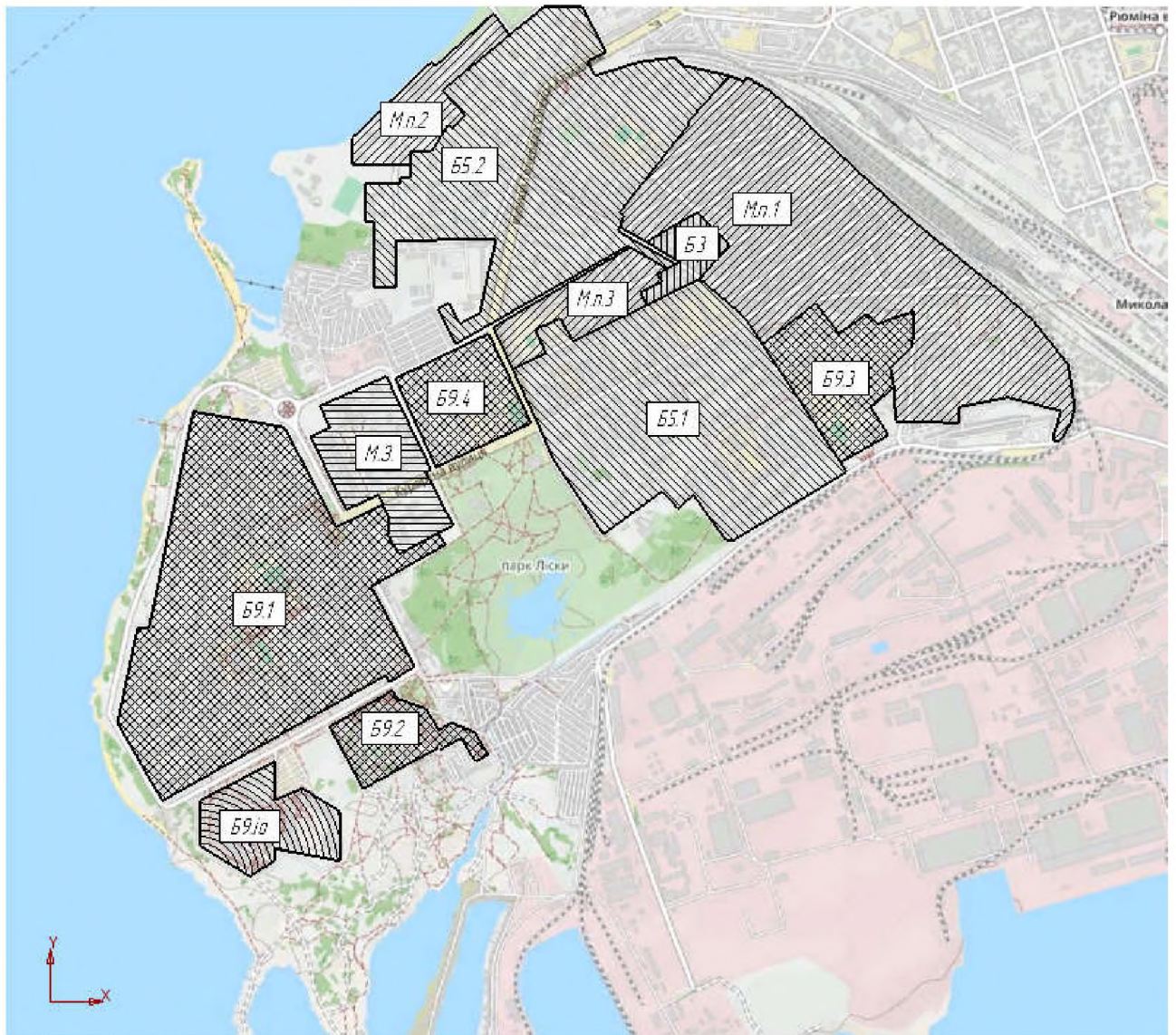


Рисунок 3.4 – Топографічний план району Намив-Ліски

На рисунку 3.5 визначені різні ділянки житлової забудови та надані їх характеристики і позначення, а у таблиці 3.1 наведені загальні дані щодо цих ділянок. Характеристики інших ділянок є на рисунку 3.3. Оскільки зараз промислові підприємства біля обраного району не працюють, то надходження скидної теплової енергії від підприємств до системи теплопостачання не розглядалося та характеристика промислових ділянок не наводиться.



-  *Забудова медичними закладами*
-  *Індивідуальна малоповерхова забудова*
-  *Багатоповерхова забудова (переважно 5 поверхів)*
-  *Багатоповерхова забудова (переважно 3 поверхів)*
-  *Багатоповерхова забудова (переважно 9 поверхів)*
-  *Багатоповерхова забудова з індивідуальним опаленням (переважно 9 поверхів)*

Рисунок 3.5 – Характеристика житлової забудови району Ліски-Намив

На рисунку 3.6 наведено розташування діючих опалювальних та технологічних котелень у обраному районі. Котельні позначені номерами К1...К5 – це окремо розташовані газові котельні які працюють на окремі теплові мережі та призначені для теплопостачання поруч розташованого

багатоквартирного житлового фонду. Ці котельні працюють тільки у опалювальний період.

Таблиця 3.1 – Характеристика ділянок представлених на рисунку 3.5

Номер ділянки	Характеристика забудови	Площа земельної ділянки, м ²	Кількість мешканців у житлових будинках	Загальна площа житлових будівель, м ²
М.п.1	Малоповерхова індивідуальна забудова	587683	2294	80300
М.п.2	Малоповерхова індивідуальна забудова	74113	170	5940
М.п.3	Малоповерхова індивідуальна забудова	73141	285	9990
Б9.1	Багатоповерхова забудова (переважно 9 поверхів)	624864	21470	644100
Б9.2	Багатоповерхова забудова (переважно 9 поверхів)	64597	3040	91200
Б9.3	Багатоповерхова забудова (переважно 9 поверхів)	119527	4465	133950
Б9.4	Багатоповерхова забудова (переважно 9 поверхів)	92964	2790	83700
Б9.іо	Багатоповерхова забудова (переважно 9 поверхів) з індивідуальним опаленням	89985	4760	142800
Б5.1	Багатоповерхова забудова (переважно 5 поверхів)	473106	11350	340500
Б5.2	Багатоповерхова забудова (переважно 5 поверхів)	523074	15640	469200
Б3	Багатоповерхова забудова (переважно 2 поверхи)	34316	703	21100
М.3.	Забудова медичними закладами	116538	—	—
Усього		2873908	66968	2022780

Централізоване гаряче водопостачання у районі Намив-Ліски відсутнє. Раніше воно було передбачене у кварталах переважно 9-поверхової забудови, але згодом від нього відмовилися. Зовнішні мережі систем гарячого водопостачання та внутрішньобудинкові трубопроводи гарячого водопостачання зруйновані.

Гаряче водопостачання квартир у 9-поверховій забудові здійснюється від побутових електричних водоакумуляційних нагрівачів.



Рисунок 3.6 – Розташування котельнь

К1...К5 – окремо розташовані газові квартальні котельні; К6 – газова квартальна котельня у підвалі житлового будинку; К7...К10 – технологічні парові газові котельні громадських установ

У зонах переважно 5-ти поверхової забудови системи централізованого гарячого водопостачання не будувалися, а отримання гарячої води здійснюється у газових проточних водонагрівачах, як і у малоповерховій житловій забудові. Відсутність централізованої системи гарячого водопостачання утруднює використання теплової енергії низького потенціалу у системі тепlopостачання.

Котельня К6 це невелика газова котельня розташована у підвальних приміщеннях житлового будинку яка здійснює теплопостачання маленького кварталу з переважно двоповерховою забудовою. Вона з безпекових міркувань повинна бути закрита.

Котельні К7...К10 це парові газові котельні невеликої потужності які збудовані з технологічних міркувань у громадських установах (лікарні, спеціальні заклади освіти).

Теплові мережі від котельнь до будинків двотрубні, переважно з залежним приєднанням будинків до них. Встановлення індивідуальних теплових пунктів тільки планується.

Річна потреба у тепловій енергії для визначених на рисунку 3.5 ділянок наведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристика теплових навантажень по ділянкам представлених на рисунку 3.5

Номер ділянки	Максимальні погодинні витрати тепла на опалення, Гкал/год	Річне споживання тепла на опалення, Гкал	Річне споживання тепла на гаряче водопостачання, Гкал	Загальне річне споживання тепла, Гкал
М.п.1	4,81	8782	5637	14419
М.п.2	0,358	654	417	1071
М.п.3	0,606	1106	701	1808
Б9.1	38,06	69488	52752	122239
Б9.2	5,03	9183	7469	16653
Б9.3	7,85	14332	10971	25303
Б9.4	4,97	9074	6855	15929
Б9.іо	8,59	15683	11695	27378
Б5.1	20,81	37994	27887	65881
Б5.2	28,76	52508	38427	90936
Б3	1,3	2373	1728	4102
М.3.	3,48	6354	Враховано згідно КТМ 204 в розрахунках на одного мешканця	6354
Усього	124,624	227531	164540	392071

Ці потреби розраховані на основі проектної документації будівель без урахування зменшення навантаження за рахунок встановлення індивідуального

опалення у окремих квартирах та утеплення будівель. Також розраховані у таблиці 3.2 потреби у тепловій енергії враховують витрати теплової енергії на теплопостачання громадських будівель (у тому числі і на вентиляцію), а потреби на гаряче водопостачання розраховані згідно нормативних документів та статистичних даних по кількості мешканців.

У таблиці 3.3 представлені прогнознi дані потреби у тепловій енергії якщо буде виконана термомодернізація зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель до граничного значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових та громадських будівель.

Таблиця 3.3 – Характеристика теплових навантажень по ділянкам представлених на рисунку 3.5 з урахуванням мінімальних вимог до термомодернізації будівель та урахуванням зменшення кількості населення

Номер ділянки	Граничне значення питомого енергоспоживання, кВт · год/м ²	Річне споживання тепла на опалення, Гкал	Річне споживання тепла на гаряче водопостачання, (коеф. 0,8) Гкал	Загальне річне споживання тепла, Гкал
М.п.1	132	8208	4510	12718
М.п.2	132	607	334	941
М.п.3	132	1021	561	1582
Б9.1	90	44889	42201	87090
Б9.2	90	6356	5975	12331
Б9.3	90	9335	8776	18112
Б9.4	90	5833	5484	11317
Б9.ю	90	9952	9356	19308
Б5.1	90	23730	22310	46040
Б5.2	90	32700	30742	63442
Б3	132	2157	1382	3539
М.3.	26 кВт×год/м ³	3968	Враховано згідно КТМ 204 в розрахунках на одного мешканця	3968
Усього	—	148757	131632	280389

У таблиці 3.4 – представлені прогнознi дані потреби у тепловій енергії при термомодернізації до класу «А» енергетичної ефективності будівлі. Також

прогнозується покращення житлових умов населення, що призведе до збільшення житлової площі на одного мешканця, тобто кількість мешканців у обраному районі зменшиться (застосовуємо коефіцієнт 0,8).

Таблиця 3.4 – Характеристика теплових навантажень по ділянкам представлених на рисунку 3.5 з урахуванням термомодернізації будівель до класу «А» та урахуванням зменшення кількості населення

Номер ділянки	Граничне значення питомого енергоспоживання для класу «А», кВт · год/м ²	Річне споживання тепла на опалення, Гкал	Річне споживання тепла на гаряче водопостачання, (коєф. 0,8) Гкал	Загальне річне споживання тепла, Гкал
М.п.1	66	4104	4510	8614
М.п.2	66	304	334	637
М.п.3	66	511	561	1072
Б9.1	45	22444	42201	64646
Б9.2	45	3178	5975	9153
Б9.3	45	4668	8776	13444
Б9.4	45	2917	5484	8401
Б9.іо	45	4976	9356	14332
Б5.1	45	11865	22310	34175
Б5.2	45	16350	30742	47092
Б3	66	1078	1382	2461
М.3.	15,6 кВт×год/м ³	1984	Враховано згідно КТМ 204 в розрахунках на одного мешканця	1984
Усього	—	74378	131632	206010

3.2. Визначення енергетичних технологій для створення ефективної системи централізованого теплопостачання

У таблиці 3.5 наведено перелік можливих технологій виробництва тепла в системах централізованого теплопостачання, а також те, наскільки впливає на них зниження температури теплоносія у системи теплопостачання, і як саме. Застосування більш низької температури теплоносія у тепловій мережі потребує внесення певних змін у конструкцію систем опалення споживачів, а іноді застосування додаткового обладнання для підвищення температури перед споживанням теплової енергії (теплових насосів або електричних підігрівачів). Більш докладно це буде розглянуто разом з модернізацією теплових мереж.

Якщо у таблиці 3.5 вказано на «Прямий вплив», то це означає, що ефект зниження температури теплоносія явно впливає на ефективність роботи устаткування, та він може бути змодельований при моделюванні виробництва тепла в системах централізованого теплопостачання. «Непрямий вплив» означає, що температури впливають на потенціал використання відновлювальних джерел енергії, та цей вплив зазвичай враховується у вихідних даних для цих джерел.

Якщо розглядати представлені технології для застосування для обраного теплового району, то можна визначити наступне, що зараз усе теплопостачання цього району здійснюється від котельних які працюють на природному газі. Когенераційні установки хоча і заплановані до застосування, зараз не працюють та для їх роботи також планується використовувати природний газ. Це не є напрямком руху до ефективної системи централізованого теплопостачання, оскільки Європейська політика наголошує на пріоритеті створення таких установок з використанням відновлювальних джерел енергії.

Хоча до обраного теплового району примикає значна територія промислової забудови, нажалі вона скоріш за все буде перебудовуватися, і зараз там немає джерел скидної теплоти яку можна використати для теплопостачання району.

Таблиця 3.5 – Перелік технологій виробництва тепла в системі централізованого теплопостачання та вплив на них рівнів температури у тепловій мережі [3]

Технології	Вплив зниження температури	Тип впливу
Котел на природному газі	Незначний	—
ТЕЦ на природному газі	Незначний	—
Котел на біомасі	Незначний	—
ТЕЦ на біомасі	Суттєвий	Непрямий через зміну потенціалу
ТЕЦ з використанням енергії на виробництві	Суттєвий	Непрямий через зміну потенціалу
Тепловий насос для річки або озера	Суттєвий	Прямий через зміну COP теплового насоса
Тепловий насос для стічних вод	Суттєвий	Прямий через зміну COP теплового насоса
Інші теплові насоси	Суттєвий	Прямий через зміну COP теплового насоса
Сонячна тепла енергія	Незначний	—
Промислове надлишкове тепло (пряме використання)	Суттєвий	Непрямий через зміну потенціалу
Геотермальний (гідротермальний), пряме використання тепла	Суттєвий	Непрямий через зміну потенціалу
Геотермальна (петротермальна), пряме використання тепла	Суттєвий	Непрямий через зміну потенціалу
Котел на водні	Незначний	—
ТЕЦ на водні	Незначний	—
Теплове акумулювання	Незначний	—

Використання водню є перспективною технологією та зараз промисловість не виробляє серійно обладнання для створення систем теплопостачання на основі даного палива. Використання геотермальної теплової енергії не розглядається оскільки відсутні площі на яких це можливо зробити.

Зараз на деяких котельнях м. Миколаїв використовується біопаливо для генерації теплової енергії. Як правило це котельні малої потужності які використовують у якості палива відходи деревини (тріску) та відходи переробки сільськогосподарської продукції (лузга). Як видно з таблиці 3.4 для теплопостачання обраного району необхідно доставляти до котельні (у разі їх

переобладнання) значну кількість такого палива. У таблиці 3.6 наведені характеристики вихідної біомаси з деревини та продуктів її переробки.

Даний тепловий район з трьох боків оточений річкою і транспортування палива до нього потребує руху транспорту на значну відстань у межах міста. Також Миколаївський регіон та сусідні регіони через кліматичні фактори не мають достатньої кількості лісових насаджень які б генерували відходи деревини у достатньої кількості для систем теплопостачання великих міст. Тому обмежену кількість відходів деревини доцільно використовувати в м. Миколаєві на невеликих котельнях та котельнях які розташовані біля в'їзду у місто щоб знизити транспортні витрати.

Таблиця 3.6 – Типові характеристики вихідної біомаси з деревини та продуктів її переробки

Вихідна сировина	Волого-місткість, %	Насипна щільність (кг/м ³)	Низька теплота згоряння, ГДж/т	Щільність енергії, ГДж/м ³
Свіжа деревина	35...58	200-250	9...12	2...3
Деревна тріска	20...25 (висушене на повітрі)	200	15	3
Деревна тирса	20...25 (висушене на повітрі)	160	15	2,4
Тверда деревина	20 (висушене на повітрі)	550	15	8
Брикети	8	650	16	10
Деревні пелети	8	650	17	11
Торрефільовані деревні пелети	2	700	20...21	15

Використання у якості палива відходів сільськогосподарського рослинного виробництва потребує ще більших транспортних витрат, оскільки щільність такого палива (у тому числі енергетична) дуже низька. У таблиці 3.7 наведені характеристики рослинних видів твердого біопалива.

Таблиця 3.7 – Характеристика рослинних видів твердого біопалива в залежності від технології їх підготовки до спалювання

Вид соломи	Об'ємна маса (щільність), кг/м ³	Питомий об'єм, м ³ /т	Питома енергомісткість, МДж/м ³
Звичайна солома	20-50	20-50	0,7-0,16
Подрібнена солома (січка)	40-60	16-25	0,13-0,19
Великі прямокутні паки	70-130	7,7-14	0,23-0,43
Круглі паки	60-90	11-16	0,19-0,29
В'язанки	50-110	9-20	0,16-0,36
Брикети	300-450	2,2-3,3	0,99-1,48
Пелети	350-500	1,9-3,0	1,1-1,6

Також при спалюванні великої кількості твердого біопалива безпосередньо у районі щільної багатоповерхової житлової забудови необхідно буде застосовувати дорогі системи очищення відхідних газів.

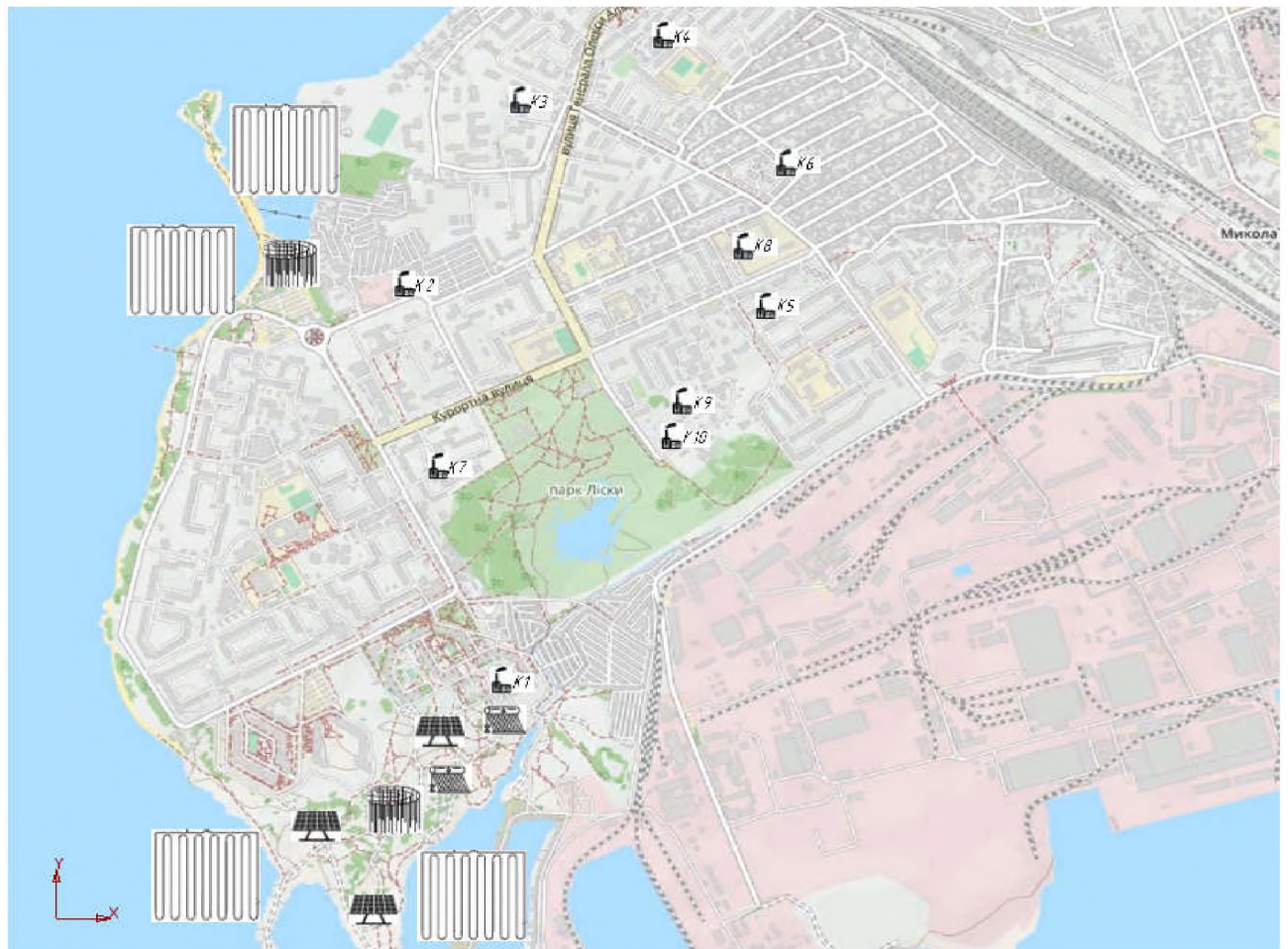
У обраному житловому районі можливе використання наступних відновлювальних джерел енергії:

- використання тепла землі з застосуванням теплових насосів для підвищення температурного потенціалу;
- використання тепла водоймищ з застосуванням теплових насосів для підвищення температурного потенціалу;
- використання тепла повітря з застосуванням теплових насосів для підвищення температурного потенціалу;
- використання сонячної енергії з перетворенням її у електричну в фотоелектричних модулях (PV);
- використання сонячної енергії з перетворенням її у теплову в геліоколекторах;
- використання сонячної енергії з перетворенням її у електричну та теплову в комбінованих теплових фотоелектричних модулях (PVT).

Для генерації енергії у великій кількості в таких установках потрібні значні вільні площі для розміщення елементів таких установок (крім використання тепла повітря).

Якщо подивитися на генеральний план забудови обраного району (див. рис. 3.3) то розміщення таких установок можливо на таких ділянках: Ж-1П – повністю, відмовившись від призначення під забудову; територія коси, що примикає до Ж-1П; Ж-4 – частково, на не забудованій території ділянки; Р-2 – частково, де можливо.

Ці ділянки розташовані біля котельних К1 та К2, що спрощує приєднання їх до теплових мереж. Можливе розміщення перелічених установок представлено на рисунку 3.7.



 – ґрунтовий теплообмінник, будь якого типу;
  – теплообмінник у водоймищі;
  – фотоелектричний модуль PV або PVT;
  – сонячний тепловий колектор

Рисунок 3.7 – Розміщення обладнання установок що використовують відновлювальну енергію

Техніко-економічні параметри розглянутих технологій включають питомі інвестиції, змінні та постійні експлуатаційні витрати та витрати на технічне обслуговування, ефективність, термін служби тощо та представлені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Техніко-економічні параметри інвестиційних варіантів в Європі у 2050 році [3]

Технології		Термін служби	Інвестиції в євро/кВт	Фіксовані витрати на експлуатацію та обслуговування у євро/кВт	Змінні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування в євро/МВт. год	ККД електричний (ТЕЦ)	ККД тепловий
Електроенергія	Електричні акумулятори	10	204	5,5	0,0	95%	
	Воднева турбіна комбінованого циклу	30	750	11,3	3,0	61%	
ТЕЦ	ТЕЦ на біомасі	25	2900	103	2,1	30% (71%)	
	ТЕЦ з переробкою відходів на енергію	25	6460	148	23,6	24% (80%)	
	Воднева ТЕЦ	30	950	30	3	48% (88%)	
Централізоване теплопостачання	Котел на біомасі	25	750	42,9	0,7		103%
	Електричний котел	20	60	0,9	0,4		99%
	Тепловий насос повітря-вода	25	760	2,0	1,7		змінна величина
	Тепловий насос для річки та озера	25	380	4,0	1,7		змінна величина
	Тепловий насос для стічних вод	25	570	2,0	1,7		змінна величина
	Геотермальна енергія	30	1300	18,8	2		–
	Сонячна тепла енергія	30	310	60	0		–
	Промислове надлишкове тепло	25	1500	80	5,6		–
	Акумулювання тепла	20	22	0,0	0,0		99%
	Водневий котел	25	50	1,7	0,9		104%

Економічні показники для фотоелектричних модулів PV/PVT представлені окремо у таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Економічні показники для модулів PV/PVT [3]

Параметр	Значення	Units
Вартість PV модуля	500	€/кВт
Вартість PVT модуля	1500	€/кВт
Вартість інвертора	200	€/кВт
Вартість електричних компонентів	100	€/кВт
Монтаж обладнання	10%	% від загальної вартості
Гідравлічні компоненти (тільки для PVT)	30	€/кВт
Загальна вартість встановлення для PV	880	€/кВт _е
Загальна вартість встановлення для PVT	2013	€/кВт _е
Витрати на експлуатацію та технічне обслуговування для PV	10	€/кВт/рік
Витрати на експлуатацію та технічне обслуговування для PVT	18	€/кВт/рік

У таблиці 3.10, додатково до наведених економічних показників енергетичних технологій, представлено порівняння техніко-економічних параметрів (для умов Німеччини) індивідуальних технологій опалення та технологій централізованого опалення які використовуються в розрахунках вартості опалення.

Таблиця 3.10 – Техніко-економічні параметри, що використовуються для порівняння індивідуальних технологій та технологій централізованого опалення в Німеччині [3]

Технології Німеччини	Одиниця	Газовий котел	Котел на біомасі	Котел на рідкому паливі	Електричний котел	Повітряно-водяний тепловий насос	Водо-водяний тепловий насос	Високотемпературне теплопостачання	Низькотемпературне теплопостачання
Потужність одиниці	кВт	20	20	20	20	20	20	20	20
Інвестиційний рік	–	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020	2020
Інвестиція в одиницю	Євро	6440	10740	7515	4965	12485	20000	5320	5320
Фіксовані витрати на експлуатацію та обслуговування одного блоку	Євро/рік	255	605	295	65	360	360	80	80
Вартість підключення	Євро/кВт	0	0	0	0	0	0	270	270*
Змінна експлуатації та технічного обслуговування	Євро/МВт·год	1	1	1	1	1	1	4	4
Ціна на паливо/електроенергію/теплопостачання	Євро/МВт·год _п ливо	43	48	46	150	150	150	50	40
Плата за потужність	Євро/кВт	6,0	0	0	0	0	0	11,95	11,95
ПДВ	Євро/МВт·год _п ливо	9	3	10	50	50	50	10	10
Податки та збори (без ПДВ)	Євро/МВт·год _п ливо	11	0	6	115	115	115	0	0
Постійні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування	Євро/кВт	12,8	30,3	14,8	3,3	18	18	4	4
Загальна ефективність		0,92	0,8	0,92	1	2,89	4,09	0,95	0,95
Тривалість експлуатації	Років	20	20	20	20	20	20	20	20
Коефіцієнт викидів	кгCO ₂ /МВт·год _п аливо	204	0	285	311	311	311	100	50

* Підключення до низькотемпературної мережі ЦТ може бути дещо вищим порівняно з вартістю підключення до високотемпературної системи ЦТ, оскільки це вимагає більших інвестицій в необхідну інфраструктуру (більший діаметр труб тощо)

3.3. Заходи з реконструкції теплових мереж для створення ефективної системи централізованого теплопостачання

Оскільки існуюча система теплопостачання обраного району міста не відповідає сучасним вимогам до таких систем та тенденціям, що впроваджуються у Європейському союзі, для аналізу можливої модернізації обрано п'ять різних сценаріїв, що відповідають п'яти концепціям централізованого теплопостачання з акцентом на різні рівні температури у подавальному та зворотному трубопроводах. Для кожного з них оцінювалися можливості впровадження, витрати на будову та економічна доцільність, а також відповідність вимогам впровадження відновлюваної енергетики.

У таблиці 3.11 наведені основні характеристики концепцій централізованого теплопостачання які відрізняються температурами теплоносія при постачанні теплової енергії та засобами приготування гарячої води для гарячого водопостачання з урахуванням діючих вимог щодо її температури у діючих нормативних документах. Усі варіанти передбачають підігрівання гарячої води для гарячого водопостачання, хоча б частково, від теплової мережі.

Звичайна система (Тип 1) слугує орієнтиром для інших сценаріїв і відображає ситуацію коли виконана термомодернізація будівель, відповідно до діючих нормативних вимог (як і для всіх п'яти сценаріїв), але будова системи теплопостачання є звичайною, а температури у подавальному та зворотному трубопроводах є зниженими (завдяки термомодернізації) у порівнянні з існуючою системою.

Система з низькою температурою зворотного потоку (Тип 2) являє собою концепцію, коли впроваджуються технічні заходи у будівлях завдяки чому відбувається зниження температури зворотної води при збереженні звичайної температури подачі.

Таблиця 3.11 – Основні характеристики концепцій централізованого теплопостачання в майбутніх енергетичних системах [6]

Параметри системи	Концепції систем централізованого теплопостачання				
	Звичайна система (Тип 1)	З низькою температурою зворотного потоку (Тип 2)	Низько-температурна система (Тип 3)	Наднизька температурна система з електричними підігрівачами (Тип 4)	Наднизька температурна система з тепловими насосами (Тип 5)
Номінальна температура подачі, °C	80	80	55	45	35
Номінальна температура у зворотній магістралі, °C	40	25	25	25	20
Додатковий спосіб приготування гарячої води	–	–	–	Пряма електрична	Тепловий насос

Низько-температурна система (Тип 3) являє собою концепцію, коли температура як подачі, так і зворотної лінії знижена до найнижчого можливого рівня, при якому немає потреби в додатковому підігріванні гарячої води для гарячого водопостачання.

Наднизька температурна система з електричними підігрівачами (Тип 4) являє собою концепцію, коли температура подачі у системі є такою, що потребує застосування додаткових підігрівачів необхідних для підвищення температури води для гарячого водопостачання. У цьому випадку за потребою застосовуються електричні підігрівачі прямого нагріву.

Наднизька температурна система з тепловими насосами (Тип 5) являє собою концепцію, коли температура подачі та зворотної лінії додатково знижується у порівнянні з концепцією «Тип 4». Тут використовуються теплові насоси для підвищення температури води для гарячого водопостачання за потребою.

Зіставлення температурних графіків для концепцій Тип 1, Тип 2 та Тип 3, при збереженні якісного регулювання, представлено у таблиці 3.12.

Таблиця 3.12 – Зіставлення температурних графіків різних концепцій

Температура зовнішнього повітря, °C	Тип 1		Тип 2		Тип 3		Частка теплового завантаження
	Температура подавальна, °C	Температура зворотна, °C	Температура подавальна, °C	Температура зворотна, °C	Температура подавальна, °C	Температура зворотна, °C	
10 °C	38 °C	28 °C	38 °C	24 °C	30 °C	23 °C	25 %
9 °C	40 °C	29 °C	39 °C	24 °C	31 °C	23 °C	28 %
8 °C	41 °C	29 °C	41 °C	24 °C	32 °C	23 °C	30 %
7 °C	43 °C	30 °C	42 °C	24 °C	33 °C	23 °C	33 %
6 °C	44 °C	30 °C	44 °C	24 °C	34 °C	23 °C	35 %
5 °C	46 °C	31 °C	45 °C	25 °C	35 °C	24 °C	38 %
4 °C	47 °C	31 °C	47 °C	25 °C	36 °C	24 °C	40 %
3 °C	49 °C	32 °C	48 °C	25 °C	36 °C	24 °C	43 %
2 °C	50 °C	32 °C	50 °C	25 °C	37 °C	24 °C	45 %
1 °C	52 °C	33 °C	51 °C	25 °C	38 °C	24 °C	48 %
0 °C	53 °C	33 °C	52 °C	25 °C	39 °C	24 °C	50 %
-1 °C	54 °C	33 °C	54 °C	25 °C	40 °C	24 °C	53 %
-2 °C	56 °C	34 °C	55 °C	25 °C	41 °C	24 °C	55 %
-3 °C	57 °C	34 °C	57 °C	25 °C	41 °C	24 °C	58 %
-4 °C	59 °C	35 °C	58 °C	25 °C	42 °C	24 °C	60 %
-5 °C	60 °C	35 °C	60 °C	25 °C	43 °C	24 °C	63 %
-6 °C	61 °C	35 °C	61 °C	25 °C	44 °C	24 °C	65 %
-7 °C	63 °C	36 °C	62 °C	25 °C	45 °C	24 °C	68 %
-8 °C	64 °C	36 °C	64 °C	25 °C	46 °C	25 °C	70 %
-9 °C	65 °C	36 °C	65 °C	25 °C	46 °C	25 °C	73 %
-10 °C	67 °C	37 °C	66 °C	25 °C	47 °C	25 °C	75 %
-11 °C	68 °C	37 °C	68 °C	25 °C	48 °C	25 °C	78 %
-12 °C	69 °C	37 °C	69 °C	25 °C	49 °C	25 °C	80 %
-13 °C	71 °C	38 °C	71 °C	25 °C	50 °C	25 °C	83 %
-14 °C	72 °C	38 °C	72 °C	25 °C	50 °C	25 °C	85 %
-15 °C	73 °C	38 °C	73 °C	25 °C	51 °C	25 °C	88 %
-16 °C	75 °C	39 °C	75 °C	25 °C	52 °C	25 °C	90 %
-17 °C	76 °C	39 °C	76 °C	25 °C	53 °C	25 °C	93 %
-18 °C	77 °C	39 °C	77 °C	25 °C	53 °C	25 °C	95 %
-19 °C	79 °C	40 °C	79 °C	25 °C	54 °C	25 °C	98 %
-20 °C	80 °C	40 °C	80 °C	25 °C	55 °C	25 °C	100 %

Для переходу на температурні графіки зі зниженою температурою зворотної води практично в усіх будівлях знадобиться перебудова внутрішніх

систем опалення з заміною деяких радіаторів та арматури до них. Така заміна у публікаціях оцінюється приблизно в середньому у 1300 євро на одну квартиру або індивідуальний будинок. Але більшість систем опалення у будинках вже працюють поза їх технічним терміном служби та потребують заміни. Тому деякі автори у публікаціях полагають, що у додаткових витратах на перебудову систем опалення необхідно враховувати тільки 10 % від загальних витрат на перебудову.

Електричний підігрівач для гарячої води на одну квартиру або індивідуальний будинок сьогодні можна придбати в середньому приблизно за 900 євро. Якщо їх встановлення буде відбуватися у великих масштабах, то, як вважають автори публікацій, можна припустити, що при масовому виробництві вартість одиниці може бути зменшена до 220 євро.

Бустерні теплові насоси для підігрівання гарячої води для визначених температурних діапазонів наразі недоступні в роздрібній торгівлі. Виконаний аналіз, у демонстраційних проектах односімейних будівель, визначив, що витрати на установку такого теплового насосу становлять приблизно 2000 євро. Також передбачається, що вартість теплового насосу можна зменшити до 670 євро, враховуючи встановлення теплових насосів більшої потужності на підстанціях теплових мереж для забезпечення багатоквартирних будинків та економію при масштабному виробництві у великих обсягах теплових насосів для односімейних будівель. Припущення щодо додаткових витрат для різних сценаріїв дообладнання будинків наведені у таблиці 3.13.

Порівняно з традиційними системами теплопостачання, системи Тип 4 та Тип 5 споживають більше питомої електроенергії завдяки використанню теплових насосів та електричних підігрівачів для підвищення температурного потенціалу теплоносія. Тобто вартість електроенергії буде суттєво впливати на загальну економічність системи теплопостачання. Тому є актуальним аналізування впливу використання фотоелектричних (PV) та теплових фотоелектричних технологій (PVT) на підприємствах теплопостачання для зменшення споживання електричної енергії від зовнішніх постачальників.

Таблиця 3.13 – Припущення щодо додаткових витрат для різних сценаріїв [6]

Категорія	Параметр	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5
1. Система опалення (Радіатори та Арматура)	Загальна вартість, €/будівля	0	1300	1300	1300	1300
	Додаткова вартість, €/будівля	0	130	130	130	130
2. Електричний підігрівач гарячої води	Наявна вартість, €/квартира	–	–	–	900	–
	Вартість при масовому виробництві, €/квартира	–	–	–	220	–
3. Тепловий насос для підігріву гарячої води	Наявна вартість, €/квартира	–	–	–	–	2000
	Вартість при масовому виробництві, €/квартира	–	–	–	–	670

Для проведення аналізу основними даними є потреба в електроенергії для всієї системи. Споживання електроенергії розраховується шляхом підсумовування споживання електроенергії основними та допоміжними пристроями системи теплопостачання, електричними підігрівачами та тепловими насосами споживачів. У виконаному аналізі, якщо є надлишок генерації електроенергії, то він передається в загальну мережу без будь-якого акумулювання та надходження коштів від цього в аналізі не враховується.

В оцінці вартості опалення також важливою є процедура розрахунку капітальних витрат на розподільчу мережу централізованого теплопостачання.

Підхід щодо розрахунку довжини теплової мережі представлений у публікації [8], він є корисним методом для попередньої оцінки інвестицій. Завдяки цьому методу модель мережі спрощується до представлення довжини мережі без отримання детальної інформації про маршрутизацію трубопроводів. Визначаючи джерела тепла та їх географічне розташування, модель розраховує довжину мережі, необхідну для підключення споживачів теплової енергії.

Загальна довжина теплової мережі для наявної конфігурації житлової забудови та визначеної вибірки підключених окремих житлових кластерів до джерел теплової енергії визначається сумою довжини міжкластерної мережі

(магістральних трубопроводів які з'єднують житлові кластери та окремо розташовані джерела теплової енергії) та довжини внутрішньокластерних мереж (розподільчих трубопроводів в нутрі кластера). Тобто це можна визначити у метрах як:

$$L = \sum L_{mt} + \sum L_{rt}$$

де L_{mt} – довжина ділянок магістральних трубопроводів;

L_{rt} – довжина ділянок розподільчих трубопроводів в нутрі кластера.

Довжина міжкластерної мережі розраховується як сума довжин з'єднань підключених джерел енергії та віртуальних центрів підключених житлових кластерів.

Одним з ключових понять при оцінці інвестиційних витрат на мережу ЦТ є лінійна теплова щільність, яка визначається як відношення кількості тепла, що подається в систему розподільчих трубопроводів (Q_T) за рік, до загальної довжини траншеї розподільчих трубопроводів (L). Лінійна щільність тепла також може характеризувати рівень тепловтрат у розподільчій мережі. Формула для її розрахунку наступна, ГДж/м.т:

$$\text{Лінійна щільність тепла} = \frac{Q_T}{L}$$

Поняття лінійної щільності вказує на рівень використання системи розподілу централізованого теплопостачання. Крім того, лінійна щільність є параметром знаменника при розрахунку капітальних витрат на мережу централізованого теплопостачання.

Альтернативно лінійну щільність тепла можна виразити як:

$$\frac{Q_T}{L} = q \times e \times w$$

де $q = \frac{Q_T}{A_B}$ – питома потреба в теплі, ГДж/м²;

$e = p \times \alpha$ – коефіцієнт площі забудови;

$w = \frac{A_L}{L}$ – ефективна ширина, м;

$p = \frac{P}{A_L}$ – щільність населення, осіб/м²;

$\alpha = \frac{A_B}{P}$ – питома площа будівлі, м²/осіб;

P – загальна чисельність населення, осіб;

A_L – загальна площа земельної ділянки, м²;

A_B – загальна площа будівель, м².

Для аналітичного розрахунку лінійної щільності тепла використовуються демографічні дані та введено поняття ефективної ширини (w), яке описує зв'язок між площею забудови та довжиною траншеї централізованого теплопостачання в межах цієї площі. На основі статистичних даних щодо будови систем теплопостачання було визначено, що ефективну ширину, для попередньої оцінки, можна визначати за формулою, m (e – не натуральне число):

$$w = 61,8 \times e^{-0,15}$$

Це дозволяє розрахувати довжину розподільчих теплових мереж.

Використовуючи лінійну теплову густину, середній діаметр трубопроводу (d_a) у метрах розраховується наступним чином, m :

$$d_a = 0,0213 \times \ln\left(\frac{Q_T}{L}\right) + 0,0481$$

Питомі інвестиційні витрати (I/L) розподільчої мережі можна отримати за допомогою наступної формули. Коефіцієнт вартості будівництва (C_2) в євро/м² та константа вартості будівництва (C_1) в євро/м були отримані емпірично на основі існуючих мереж.

$$\frac{I}{L} = C_1 + C_2 \times d_a, \text{ євро/м}$$

Якщо припустити постійне постачання тепла мережею ЦТ протягом її терміну служби, то, відповідно, річні капітальні витрати на розподільчі мережі ЦТ на одиницю поставленого тепла можна отримати наступним чином:

$$C_{a,T} = \frac{C_{1,T} + C_{2,T} \times d_a}{n \times \frac{Q_T}{L} \times \sum_{t=0}^n (1+r)^{-t}}$$

де $C_{a,T}$ – річна вартість розподільчої мережі у одиниці поставленого тепла мережею, €/ГДж;

L – загальна довжина траншеї, m ;

$C_{1,T}$ – вартість будівництва постійна, €/м, приймається 212 €/м;

$C_{2,T}$ – коефіцієнт витрат на будівництво, €/м², приймається 4464 €/м²;

d_a – зовнішній діаметр труби, м;

n – термін амортизації, приймається 30 років;

Q_T – теплова енергія, що постачається ЦТ у році « t », ГДж;

$\frac{Q_T}{L}$ – лінійна теплова щільність, ГДж/м;

r – процентна ставка, приймається за фінансовими умовами.

Як зазначено в публікаціях, розраховані таким чином параметри вартості теплових мереж також можна використовувати для майбутніх низькотемпературних мереж 4-го та 5-го покоління.

Розрахунки параметрів розподільчих теплових мереж для різних кластерів з урахуванням термомодернізації будівель до класу «А» та урахуванням зменшення кількості населення наведені у таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Результати розрахунку параметрів розподільчих теплових мереж для різних кластерів з урахуванням термомодернізації будівель до класу «А» та урахуванням зменшення кількості населення

Номер ділянки	Ефективна ширина, м	Лінійна теплова щільність, ГДж/м	Довжини траншеї розподільчих трубопроводів, м	Питомі інвестиційні витрати, євро/м	Інвестиційні витрати, євро	Капітальні витрати на розподільчі мережі, €/Гкал
М.п.1	83,30146	0,291805	7055	310	2184246	9,04
М.п.2	90,24116	0,185423	821	266	218864	12,24
М.п.3	83,30629	0,291709	878	310	271801	9,04
Б9.1	61,51957	1,521131	10157	467	4739344	2,61
Б9.2	58,68419	1,987417	1101	492	541600	2,11
Б9.3	60,75289	1,633161	1967	473	931299	2,47
Б9.4	62,7808	1,355885	1481	456	674738	2,86
Б9.іо	57,664	2,195069	1561	501	782553	1,95
Б5.1	64,92541	1,120879	7287	438	3188526	3,33
Б5.2	62,81585	1,351604	8327	455	3791881	2,87
Б3	66,47688	1,139348	516	439	226679	3,28

3.4. Визначення потужності та продуктивності відновлювальних джерел енергії на території обраного району

На визначених ділянках житлового району розглянуто можливості використання відновлювальних джерел енергії та їх вплив на скорочення споживання викопного палива.

Земельні площі визначених ділянок наступні:

- Ж-1П – 58700 м²;
- територія коси, що примикає до Ж-1П – 10165 м²;
- Ж-4 (частково) – 153658 м²;
- Р-2 (частково) – 12050 м².

Довжина берегової лінії де можливо розміщення теплообмінників вода-теплоносій складає – 5180 м.

Застосування ґрунтових вертикальних колекторів для отримання тепла землі, з подальшим підвищенням температурного потенціалу у тепловому насосі, це доволі розповсюджене рішення (горизонтальний тип колектора не розглядаємо, оскільки не мається ділянок достатньої площі для їх розміщення). У вертикальних колекторів система труб встановлюється вертикально в землі у пробурені свердловини глибиною приблизно до 100 м (зазвичай 40-60 м). Для отримання великої кількості енергії будуватиметься поле свердловин які з'єднуються трубопроводами з потужним тепловим насосом. На рисунку 3.8 представлена така система з вертикальними колекторами.

При спорудженні теплових установок з ґрунтовими вертикальними колекторами необхідно дотримуватись вимог закону про використання та охорону природних ресурсів та пов'язані з ним регіональні адміністративні розпорядження.

Температура рідкого теплоносія між колектором і тепловим насосом не повинна відрізнятися від температури незайманого земного ґрунту більш ніж на ± 11 К. У цьому випадку вплив ґрунтового вертикального колектора на навколишній земний ґрунт буде незначним. Параметри відбору тепла для ґрунтів різних класів наведені у таблиці 3.15.

Оскільки ділянки для розміщення ґрунтового колектора знаходяться на території, яка була намита на старому руслі річки, то ґрунти представляють собою звичайні водонасичені відкладення і можна прийняти, що питома тепловіддача становить 60 Вт/м.

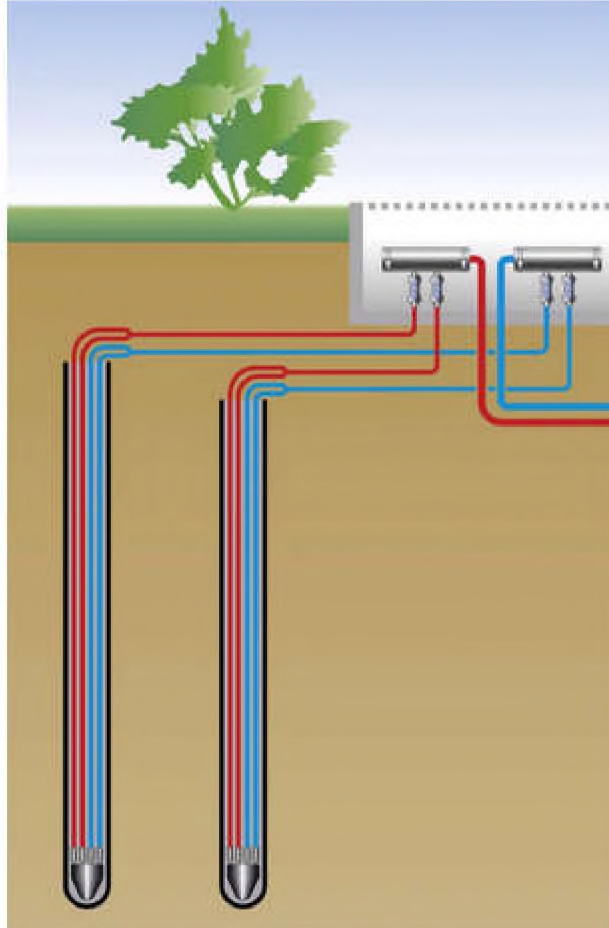


Рисунок 3.8 – Система ґрунтових вертикальних колекторів

Також необхідно дотримуватися вимог до мінімальних відстаней та розмірів які рекомендовані при застосуванні ґрунтового вертикального колектора [21]:

- мінімальна відстань від фундаменту будівлі має становити 2,0 м;
- відстань від меж земельної ділянки не менше 3,0 м.

Враховуючі ці вимоги, конфігурацію ділянок та рекомендації щодо відстані вертикальних колекторів один від одного, визначена їхня кількість на ділянках та технічні параметри поля колекторів. Результати представлені у таблиці 3.16. Глибина колекторів прийнята 40 м.

Таблиця 3.15 – Параметри відбору тепла для ґрунтів різних класів [21]

Властивості ґрунту	Продуктивність ґрунту м/кВт	Питома тепловіддача Вт/м
Сухі відкладення	30	25
Звичайні водонасичені відкладення	12,5	60
Середнє значення, звичайні відкладення	15	50
Щебінь, сухий пісок	< 30	<25
Щебінь, водоносний пісок	близько 10	65-80
Глина, вологий суглинок	близько 18	35-50
Вапняк	близько 12	55-70
Піщаник	близько 10,5	65-80
Граніт	близько 10	65-85
Базальт	близько 16	40-65
Гнейс	близько 10	70-85

Примітка: Дані представлені для наступних умов – 1800 годин роботи на рік; відстань між двома ґрунтовими зондами не менше 5 м; колектор виконаний у вигляді подвійного зонда з U-подібної трубки; максимальна глибина ґрунтового зонда 100 м.

Таблиця 3.16 – Технічні параметри поля колекторів

Ділянка	Кількість колекторів, одиниць	Загальна довжина, м	Питома тепловіддача, Вт/м	Загальна тепловіддача, Вт	Теоретична кількість теплової енергії отриманої за опалувальний сезон, Гкал
Ж-1П	520	20800	60	1248000	72637
Коса у Ж-1П	72	2880	60	172800	10057
Ж-4 (частково)	12620	504800	60	30288000	1762838
Р-2 (частково)	82	3280	60	196800	11454
Усього	13294	531760		31905600	1856986

Порівнюючи дані таблиці 3.16 з таблицями 3.2...3.4 можна побачити, що теоретично поле колекторів може забезпечити тепловою енергією потреби системи тепlopостачання, але це низькопотенціальна тепла енергія яку неможливо спрямувати до теплової мережі без підвищення температури, що

можна зробити у тепловому насосі. Однак COP теплового насосу залежить від різниці температур між випарником та конденсатором теплового насосу (типова залежність представлена на рисунку 3.8), та чим вона віще тим нижче ефективність застосування теплового насосу.

COP

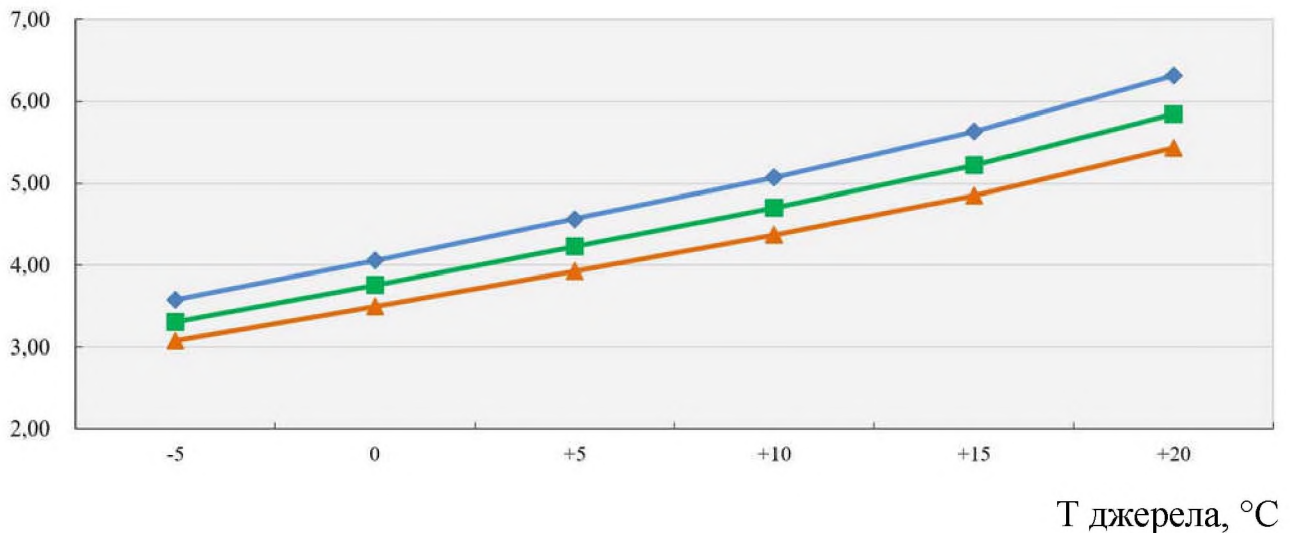


Рисунок 3.8 – COP теплового насосу в залежності від різниці температур між випарником та конденсатором (синя лінія – температура нагріву 35 °C, зелена – 45 °C, червона – 55 °C)

Якщо закуповувати електричну енергію для роботи теплового насосу на енергоринку, то виходячи з того, що вартість теплової енергії становить 0,056 \$/(кВт·год) (для населення 0,028 \$/(кВт·год)), а електричної енергії – 0,20 \$/(кВт·год) бажано мати COP більше 3,57 (зараз вартість теплової енергії не відповідає ринковим умовам). Враховуючи, що температура ґрунту становить 5...10 °C застосування такої системи (колектори-тепловий насос) у наявних цінових умовах не є доцільним без умов застосування низькотемпературного опалення.

Аналогічна ситуація складається і при використанні тепла водоймищ. Оскільки житловий район Ліски-Намив з двох сторін має берегову лінію, то можливе створення установок у яких теплові насоси отримували б теплову енергію з лиману.

Прикладом такої системи є установка у місті Aalborg. Вона складається з чотирьох потужних теплових насосів загальною потужністю 177 МВт. Теплова енергія, яку вона генерує, надходить у систему централізованого постачання. Джерелом теплової енергії слугує морська вода (температура в залежності від сезону 1...15 °С), а температура теплоносія, якій надходить у систему теплопостачання може досягати 98 °С за потребою.

Температура води у лимані біля Миколаєва в опалювальний період може складати від 6 °С до – 0,5 °С (якщо завдяки вітру до лиману надходить солена вода).

Розроблені різні системи використання тепла води – відкриті та закриті. На рисунку 3.8 представлено донний водозабір відкритої системи, коли вода забирається з водойми, проходить теплообмінник, а потім повертається назад. В закритих системах теплообмінники безпосередньо розташовуються у водоймищі. Приклад такого теплообмінника представлено на рисунку 3.9.

Визначена вільна довжина берегової лінії дозволяє розмістити достатню кількість теплообмінників для забезпечення теплових насосів енергією для покриття потреб централізованого теплопостачання.

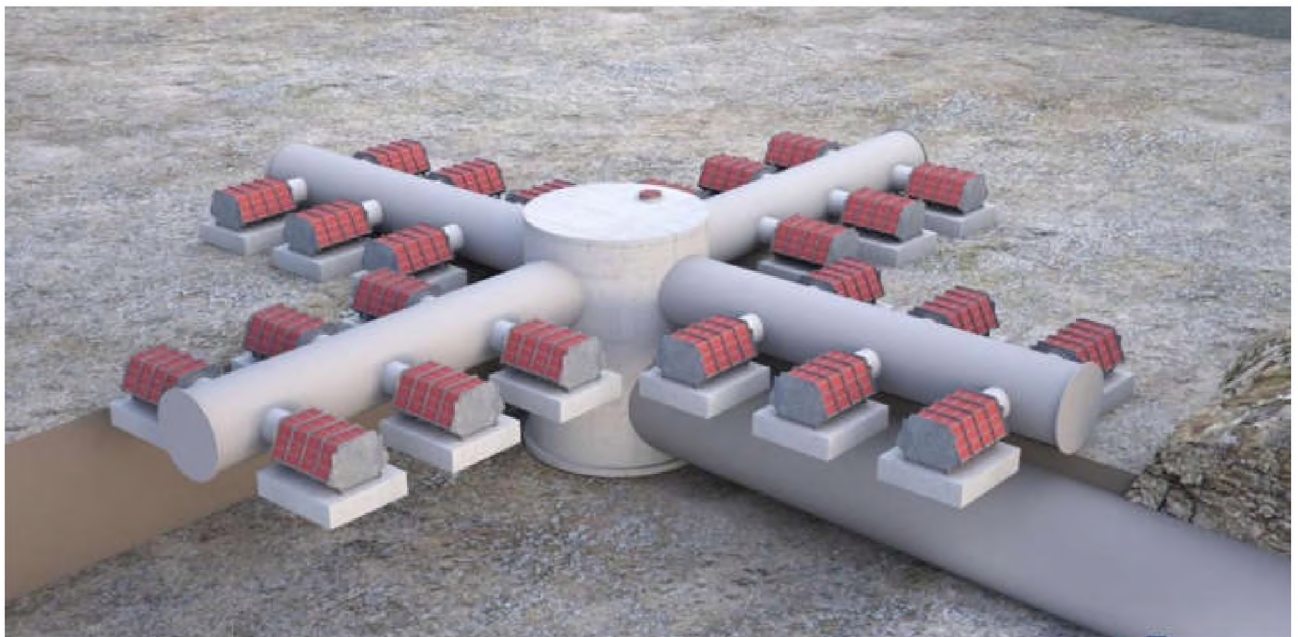


Рисунок 3.8 – Фільтраційна система для забору води з лиману



Рисунок 3.9 – Спіральний теплообмінник

Для вирішення проблеми закупівлі електричної енергії на енергоринку для роботи теплових насосів, розглянута можливість застосування фотоелектричних модулів на ділянках, які розглядалися для розміщення ґрунтових вертикальних колекторів.

Для отримання електричної енергії яка необхідна для роботи теплових насосів над ділянкою ґрунтових вертикальних колекторів розташовуємо фотоелектричні модулі типу PV або PVT. Модулі PVT додатково до вертикальних колекторів дозволяють отримувати теплову енергію від охолодження фотоелектричних модулів. Також можна розглянути варіант з розташуванням над вертикальними ґрунтовими колекторами сонячних теплових нагрівачів для додаткового підігрівання теплоносія.

Помісячне надходження сонячної радіації та температури зовнішнього повітря для м. Миколаєва представлено на рисунку 3.10.

Для оцінки генерації електричної енергії від фотоелектричних панелей використовуємо обладнання фірми China Sunergy марки CSUN255-60M. Характеристики панелі наступні: потужність 255 Вт; ККД – 15,71; звичайна робоча температура елемента – 45; температурний коефіцієнт – 0,4%; площа

сонячного колектора – $1,62 \text{ м}^2$; інші втрати – 12%. Інвертор має ККД 95%, інші втрати – 1%. Габаритні розміри панелі 1640 на 990 мм. Азимут 0° , нахил 62° . Дані щодо помісячної генерації електричної енергії однієї встановленої панелі представлені у таблиці 3.17.

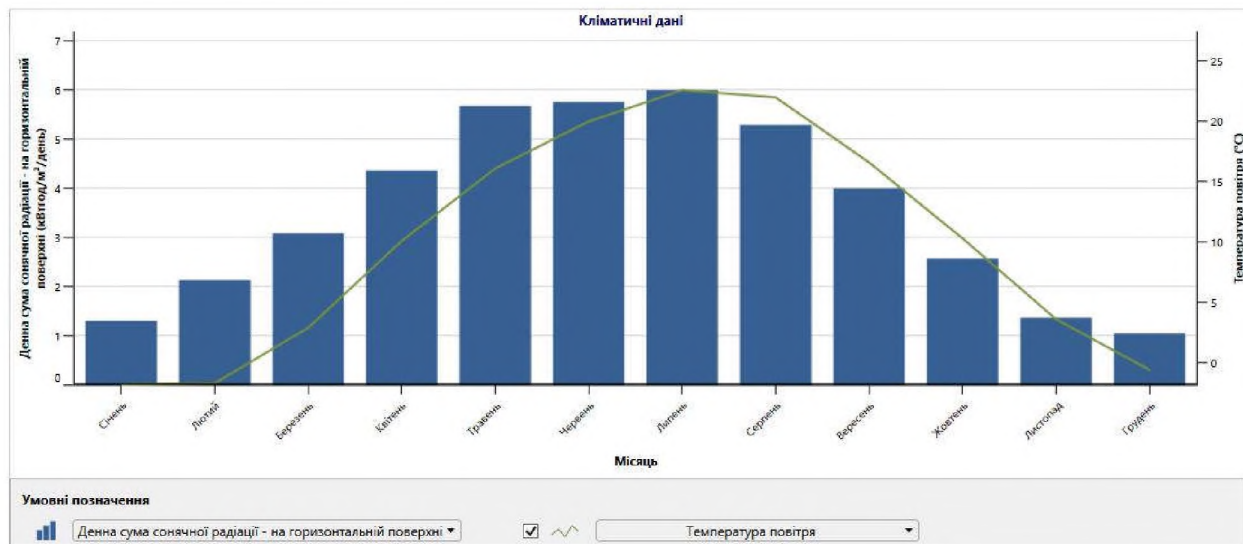


Рисунок 3.10 – Надходження сонячної радіації та температури зовнішнього повітря помісячно у Миколаєві

Таблиця 3.17 – Генерація електроенергії від однієї встановленої панелі

Місяць	Денна сума сонячної радіації на горизонтальній поверхні кВт·год/м²/доба	Денна сума сонячної радіації на похилу поверхню кВт·год/м²/доба	Генерація електроенергії, кВт·год
Січень	1,30	2,69	18,215
Лютий	2,13	3,59	21,883
Березень	3,08	3,74	24,799
Квітень	4,36	4,20	26,293
Травень	5,68	4,64	29,257
Червень	5,76	4,36	26,341
Липень	6,00	4,68	28,779
Серпень	5,29	4,78	29,283
Вересень	4,00	4,55	27,496
Жовтень	2,57	3,91	25,088
Листопад	1,36	2,54	16,355
Грудень	1,04	2,21	14,983
Щорічний	3,56	3,83	288,772

Земельні ділянки на яких можливе компактне розміщення сонячної електростанції – це Ж-1П та Ж-4 (частково). Компонування розміщення модулів дозволило визначити їх кількість на даних ділянках. Їх сумарна кількість – 47200 одиниць. Помісячна генерація електричної енергії таким полем фотоелектричних модулів представлена у таблиці 3.18. У тієї ж таблиці наведені дані щодо кількості теплової енергії яку можна отримати при спільній роботі фотоелектричний модуль-тепловий насос (за умови, що теплові насоси споживають тільки електричну енергію яка генерується). Розрахунки виконані у програмі RETScreen [4].

Таблиця 3.18 – Генерація електроенергії від поля фотоелектричних модулів та генерація теплової енергії від теплових насосів

Місяць	Генерація електроенергії, кВт·год	Генерація теплової енергії при COP=4, Гкал	Генерація теплової енергії при COP=5, Гкал
Січень	859763	2958	3697
Лютий	1032854	3553	4441
Березень	1170514	4027	5033
Квітень	1241045	4269	5336
Травень	1380907	4750	5938
Червень	1243315	4277	5346
Липень	1358368	4673	5841
Серпень	1382178	4755	5943
Вересень	1297812	4464	5581
Жовтень	1184130	4073	5092
Листопад	771947	2655	3319
Грудень	707185	2433	3041
Щорічно	13630024	46887	58609
У зимовий період	5754851	19797	24746

При отриманні теплової енергії від поля вертикальних ґрунтових колекторів на виході з теплового насосу при COP=4 температура теплоносія, що подається у систему тепlopостачання складе приблизно +45 °C, а при COP=5 – +30 °C.

У таблиці 3.19 виконано зіставлення потреби у тепловій енергії кластерів житлових будинків, які розташовані поруч з ділянками де розміщується обладнання для використання відновлювальних джерел енергії, та тепловій енергії, що генерується.

Таблиця 3.19 – Зіставлення потреби у тепловій енергії з генерацією відновлювальними джерелами енергії

Номер ділянки	Річне споживання тепла на опалення з урахуванням термомодернізації будівель до класу «А», Гкал	Річне споживання тепла на гаряче водопостачання, (коєф. 0,8) Гкал	Загальне річне споживання тепла, Гкал
Кластер Б9.1	22444	42201	64646
Кластер Б9.2	3178	5975	9153
Кластер Б9.ю	4976	9356	14332
Усього	30598	57533	88132
Відновлювальні джерела енергії			
	У зимовий період		Щорічно
Генерація теплової енергії при COP=4, Гкал	19797	—	46887
Генерація теплової енергії при COP=5, Гкал	24746	—	58609
Заміщення традиційних видів палива у відсотках			
Генерація теплової енергії при COP=4	64,7 (тільки опалення)	—	53,2
Генерація теплової енергії при COP=5	80,9 (тільки опалення)	—	66,5

Як видно з аналізу таблиці 3.19 для поруч розташованих з відновлювальними джерелами енергії кластерів житлових будинків виконується умова, що для створення ефективної системи централізованого теплопостачання

необхідно 50% споживання теплової енергії з таких джерел. Однак у зв'язку з низькими температурами теплоносія після теплових насосів досягти такого заміщення викопного палива можливо тільки при модернізації системи тепlopостачання застосовує вище описані моделі Тип 2 або Тип 3, або Тип 4, або Тип 5. Також бажане відновлення системи централізованого гарячого водопостачання. Для інших житлових кластерів також є можливість отримувати теплову енергію від тепла землі, однак відсутня можливість розміщення фотоелектричних модулів. Виходом з такої ситуації є закупівля електричної енергії з відновлювальних джерел енергії.

Якщо використати дані щодо вартості енергетичних установок відновлювальних джерел енергії та експлуатаційних витрат, які наведені у таблицях 3.8...3.10, то вартість однієї Гкал теплової енергії, що генерується, у збалансованій по потужності системі (фотоелектричний модуль-тепловий насос-вертикальний ґрунтовий колектор) буде становити (з урахуванням інвестиційних витрат) для опалювального періоду – 164 євро/Гкал, а цілорічної роботи – 70 євро/Гкал. Однак реальна вартість генерації тепла буде залежати від реальних експлуатаційних режимів роботи системи централізованого тепlopостачання.

3.5. Визначення впливу заходів підвищення енергоефективності централізованого тепlopостачання на рівень скорочення викидів парникових газів

Згідно з Методикою розроблення схем тепlopостачання населених пунктів України питомі викиди окремих забруднюючих речовин (гази або суспендовані тверді частки) у атмосферне повітря визначаються як відношення обсягу валових викидів забруднюючої речовини за визначений період часу (рік) до загального обсягу відпущеної споживачам теплової енергії за цей же період. Формула для розрахунку має наступний вигляд, г/ГДж [29]:

$$E_t^{num} = \frac{M_t \times 10^6}{Q_t}$$

де M_t – обсяг валових викидів забруднюючої речовини у атмосферу за розрахунковий період часу (наприклад рік), т/рік;

Q_t – відпущена споживачам теплова енергія за той же період часу (наприклад рік), ГДж/рік.

Окремо розраховуються викиди наступних забруднюючих речовин – діоксиду сірки SO_2 , оксидів азоту NO_x (при цьому обсяги викидів оксиду азоту NO та діоксиду азоту NO_2 об'єднуються шляхом еквівалентного перерахунку на діоксид азоту NO_x), оксиду вуглецю CO , діоксиду вуглецю CO_2 , суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом $NMVOС$, метану CH_4 , закису азоту N_2O .

Також згідно з Методикою розраховуються питомі викиди парникових газів на 1 ГДж відпущеної теплової енергії за розрахунковий період. Для цього використовується показник – валові викиди парникових газів за розрахунковий період у перерахунку на еквівалент діоксиду вуглецю CO_{2e} , який розраховується за формулою, (наприклад рік, т/рік) [29]:

$$M_t^{CO_{2e}} = M_{CO_2} \times 1 + M_{N_2O} \times 265 + M_{CH_4} \times 28,$$

де M_{CO_2} , M_{N_2O} , M_{CH_4} – валові викиди діоксиду вуглецю, закису азоту та метану за розрахунковий період, коефіцієнти, на які вони помножені, це вага впливу на глобальне потепління окремої забруднюючої речовини.

Відповідно питомі викиди парникових газів на 1 ГДж відпущеної теплової енергії розраховуються як відношення еквіваленту діоксиду вуглецю CO_{2e} за розрахунковий період часу до загального обсягу відпущеної споживачам теплової енергії за цей же період, г/ГДж:

$$E_{CO_{2e}}^{пит} = \frac{M_t^{CO_{2e}} \times 10^6}{Q_t}$$

У всіх Європейських сценаріях передбачається дуже висока ціна на CO_2 у розмірі 500 євро/т у 2050 році, щоб досягти кліматично нейтральної енергетичної системи та відповідати поставленим завданням. У таблиці 3.20 наведено припущення щодо цін на викиди вуглецю у Європі.

Таблиця 3.20 – Припущення щодо цін на викиди вуглецю у Європі

Рік моделювання	Ціна вуглецю (євро ₂₀₁₈ /т CO ₂)
2030	65
2040	200
2050	500

В результаті застосування відновлювальних джерел енергії отримано заміщення теплової енергії, яка раніше генерувалася у котлах, які працюють на природному газі, на теплову енергію яка генерована у відновлювальних джерелах енергії. Кількість такої енергії наведено у таблиці 3.19.

В наслідок цього зменшуються викиди у навколишнє середовище. У таблиці 3.21 представлені результати розрахунків зменшення таких викидів які виконані згідно «Методики визначення енергетичної ефективності будівель».

Таблиця 3.21 – Зменшення викидів у навколишнє середовище при інтеграції відновлювальних джерел у систему тепlopостачання

Економія		
	У зимовий період	Щорічно
Генерація теплової енергії при COP=4, кВт·год	23019402	54520072
Генерація теплової енергії при COP=5, кВт·год	28774253	68150090
Коефіцієнт викидів парникових газів CO ₂ =260 гр/(кВт·год)		
Зменшення викидів парникових газів при COP=4, т	5985	14175
Зменшення викидів парникових газів при COP=4, т	7481	17719

3.6. Висновки до розділу 3

1. Використання місцевих відновлювальних джерел енергії у системах централізованого теплопостачання потребує модернізації таких систем з переходом на низькотемпературні графіки постачання тепла або графіки з низькою температурою зворотної води.

2. Для виконання умови, щодо вироблення 50% споживаної енергії з відновлювальних та нетрадиційних джерел, у системах централізованого теплопостачання необхідно відновити централізовану систему гарячого водопостачання.

3. Окремі житлові кластери міста мають різні умови для впровадження відновлювальних джерел енергії, тому для досягнення в цілому по місту 50% споживаної енергії з відновлювальних та нетрадиційних джерел необхідно розглядати їх впровадження комплексно для міста, застосовує їх там, де це більш раціонально.

РОЗДІЛ 4. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

4.1. Організація системи охорони праці на підприємствах теплопостачання

Експлуатації теплових установок та мереж, їх будова, ремонт та налагодження повинні здійснюватися відповідно до вимог чинних нормативних документів з охорони праці, а також правил пожежної та техногенної безпеки.

Керівник підприємства (суб'єкта господарювання) та керівники структурних підрозділів повинні забезпечити безпечні та здорові умови праці для усіх робітників на їх робочих місцях, у виробничих приміщеннях та на території підприємства, у місцях розміщення теплових установок, електричних і теплових мереж. Вони повинні контролювати їх відповідність чинним вимогам з охорони праці, виробничої санітарії та здійснювати нагляд за дотриманням цих вимог. Вони також повинні своєчасно організовувати навчання, інструктажі персоналу та перевірку знань з охорони праці та безпечного виконання робіт.

Основні вимоги до керівництва підприємства теплопостачання наступні. Вони повинні у відповідності до нормативних вимог [36]:

- створити службу охорони праці на підприємстві;
- забезпечити безпечні умови праці в робочих зонах, де існує потенційна загроза виникнення вибухонебезпечного середовища;
- розробити та затвердити перелік робіт з підвищеною небезпекою;
- організувати за кошти підприємства проведення медичних оглядів робітників певних категорій під час прийняття на роботу та періодично протягом трудової діяльності;
- розробити та затвердити перелік робіт, виконання яких потребує професійного добору працівників;
- організувати опрацювання і затвердження нормативних актів та інструкцій щодо охорони праці, які будуть діяти на підприємстві;
- забезпечити організацію проведення навчання і перевірки знань з пожежної безпеки;

- організувати розслідування та вести облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій;
- організувати проведення атестації робочих місць за умовами праці;
- забезпечити стан пожежної безпеки відповідно до вимог чинного законодавства;
- забезпечити безпечну експлуатацію електроустаткування;
- за рахунок підприємства забезпечити придбання, комплектування, видачу та утримання засобів індивідуального захисту робітників;
- призначити відповідальним за безпечну експлуатацію та справний стан устаткування технічного керівника або особу зі складу інженерно-технічних працівників.

Для експлуатації теплових установок, теплових та електричних мереж на підприємстві розробляються та затверджуються інструкції з безпечної експлуатації такого устаткування.

Інструкції повинні містити загальні вимоги безпеки, вимоги безпеки до початку робіт, під час проведення робіт, в аварійних випадках та після закінчення робіт.

Кожен працівник, який обслуговує теплові установки, електричні і теплові мережі, повинен знати та дотримуватися вимог безпеки та організації праці на робочому місці.

Організація роботи з персоналом повинна передбачати перевірки знань Правил, вимог з охорони праці, інструкцій та інших нормативних документів з охорони праці, які необхідно знати відповідно до вимог посади, що займається.

Повинні проводитися інструктажі з охорони праці, техногенної та пожежної безпеки з періодичністю яка встановлена діючим законодавством. Також повинні проводитися періодичні перевірки наявності та справності на робочих місцях запобіжних засобів та засобів захисту від пожежної та техногенної безпеки.

Програма виробничого навчання повинна передбачати [36]:

- вивчення правил безпеки та інших спеціальних безпекових правил, якщо цього потребує робота, яка буде виконуватися на підприємстві;
- вивчення посадових інструкцій, інструкцій з охорони праці, дії персоналу при аварійних ситуаціях, інструкцій з ліквідації аварій;
- вивчення конструкції, принципу дії і використання технічних засобів безпеки та засобів протиаварійного захисту.

Перевірка знань з питань охорони праці, пожежної та техногенної безпеки за видами поділяється на первинну, періодичну та позачергову.

Первинна перевірка знань повинна відбуватися перед допуском працівника до самостійної роботи після навчання або перепідготовки на іншу посаду.

Періодична перевірка знань персоналом питань охорони праці, пожежної та техногенної безпеки має відбуватися [36]:

- для персоналу, який безпосередньо обслуговує діюче теплове устаткування, електричні та трубопровідні мережі, або виконує на них будь які роботи, один раз за 12 місяців;
- для інженерно-технічних працівників, які не належать до попередньої групи але пов'язані з експлуатацією вище переліченого обладнання, один раз на 3 роки.

Позачергова перевірка знань проводиться у разі: порушення працівником правил безпеки; виявлення фактів недостатніх знань працівником правил безпеки; введення в дію нових або переглянутих правил охорони праці та пожежної, техногенної безпеки; впровадження нових технологічних процесів, де задіяні працівники; перерва в роботі працівника або технологічного процесу тривалістю понад 6 місяців тощо.

Позачергова перевірка не повинна впливати на періодичні перевірки за графіком (крім випадку, коли уведені в дію нові правила охорони праці).

Обсяг знань з охорони праці, пожежної та техногенної безпеки для всіх категорій робітників визначаються відповідними нормативними документами. Для перевірки знань персоналу вимог правил охорони праці створюються постійно діючі кваліфікаційні комісії в складі не менше ніж трьох осіб.

На кожному об'єкті підприємства (суб'єкта господарювання) повинні бути [36]:

- інструкції з охорони праці, пожежної та техногенної безпеки щодо кожного робочого місця, що є на даному об'єкті;
- інструкції з виконання вимог техногенної безпеки, ліквідації аварій та порядок дії персоналу у разі виникнення їх на об'єкті.

Усі теплові установки та електричні і трубопровідні мережі, інше устаткування теплового та електричного господарства суб'єкта господарювання має бути забезпечено, у тому числі наступними документами:

- інструкції з пожежної та техногенної безпеки і охорони праці;
- плани локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій.

Окремі роботи на обладнанні потрібно проводити за нарядами-допусками або за розпорядженнями які видаються згідно вимог чинного законодавства.

За нарядами необхідно проводити такі роботи:

- газонебезпечні роботи;
- ремонт котельних агрегатів;
- ремонт насосів і мішалок;
- ремонт обертових механізмів (вентиляторів, димососів);
- газонебезпечні та вогневі роботи у зоні діючого обладнання і у виробничих приміщеннях;
- знімання та встановлення заглушок на трубопроводах (крім трубопроводів води з тиском, який не більше атмосферного, і температурою до +45°C);
- гідропневматичне промивання трубопроводів;
- випробування теплової мережі на розрахунковий тиск та розрахункову температуру теплоносія;
- роботи у місцях, небезпечних щодо ураження електричним струмом, вибухонебезпеки і загазованості, з обмеженим доступом для відвідування;
- теплоізоляційні роботи;
- ремонт димових труб, градирень, будівель та споруд.

4.2. Вимоги безпеки під час експлуатації обладнання систем теплопостачання

Загальні вимоги до території підприємства, приміщень та робочих місць наступні [35]:

- усі відокремлені території підприємства повинні мати огорожі, освітлення, утримуватись в чистоті і порядку;
- рівень освітленості, шуму й вібрації на робочих місцях повинен відповідати діючим вимогам санітарних норм до даного робочого місця;
- системи опалення, кондиціювання повітря і вентиляції повинні забезпечувати санітарно-гігієнічні вимоги які висуваються до мікроклімату виробничих приміщень (робочих місць) згідно діючого законодавства;
- вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати затверджених граничних показників ГДК у повітрі робочої зони виробничих приміщень;
- усі проїзди та проходи на території підприємства повинні бути освітлені, вільні та безпечні для руху транспорту і пішоходів;
- входи і виходи як усередині приміщень, так з будівель до прилеглої території мають бути освітлені і безпечні для руху;
- біля всіх дверей або воріт будівель у зоні руху транспортних засобів необхідно установлювати огорожувальні стовпчики і поручні;
- у виробничих приміщеннях повинні бути аптечки, укомплектовані перев'язувальним матеріалом та медикаментами;
- територія підприємства, а також споруди, будівлі і приміщення повинні мати відповідні знаки безпеки згідно чинного законодавства.

Для забезпечення безпечної експлуатації тепловикористовувальних установок і обладнання повинні виконуватися наступні вимоги:

- такі установки, обладнання та системи повинні мати арматуру і прилади які дозволяють перекривати доступ до них робочого середовища, відключати від електрики тощо;
- якщо за технологією неприпустима різка зміна параметрів, яка може спричинити пожежу, вибух тощо, повинні бути розроблені заходи, що

унеможливлують такі явища, а роботи повинні проводитися за інструкцією, яка затверджена адміністрацією;

- пуск установок, обладнання у роботу повинен здійснюватися тільки після ретельної перевірки справності установок та обладнання;

- запускати обладнання, устаткування, після його зупинки, має право тільки працівник, який здійснював зупинку, або працівник який прийняв по зміні обов'язки від попереднього працівника та був попереджений про стан обладнання;

- рухомі й обертові частини машин і механізмів, розташовані на висоті менше 2 м від рівня підлоги або робочих площадок, повинні мати суцільне або сітчасте огороження;

- ремонтувати, чистити та змащувати обладнання з рухомими частинами, проводити його внутрішній огляд дозволяється тільки після того, як обладнання зупинено, зі шківів знято приводні ремені, на електропускових механізмах вивішено плакат «Не включати! Працюють люди!» та зняті запобіжники на електрощиті.

Вимоги до охорони праці при експлуатації теплових мереж наступні [35]:

- теплові пункти необхідно розташовувати в ізольованих окремих приміщеннях, які обладнані припливно-витяжною вентиляцією;

- обходи теплових мереж які здійснюються без спускання робітників у підземні споруди мереж повинна виконувати група яка складається з не менш ніж двох робітників, а якщо виконуються спускання у підземні споруди мереж або проводяться роботи в ній, кількість робітників у бригаді має бути не менш ніж три робітники;

- пуск водяних теплових мереж, а також випробування ділянок мережі або окремих її елементів, необхідно виконувати за програмою, яка затверджена відповідальним керівником, та у якій передбачені необхідні заходи щодо безпеки робітників;

– гідропневматичне промивання трубопроводів, а також випробування мереж на розрахунковий тиск та температуру необхідно виконувати під наглядом відповідального керівника;

– робітники, що здійснюють контроль за повітряними клапанами у тепловій камері, під час заповнення мережі, повинні знаходитися збоку від фланцевих з'єднань;

– забороняється перебування робітників поблизу трубопроводів, якщо вони безпосередньо не задіяні у промиванні цих трубопроводів;

– проведення ремонтних та інших робіт на ділянках трубопроводів, на яких здійснюється гідропневматичне промивання, забороняється;

– при випробуванні теплової мережі на розрахункові параметри теплоносія забороняється здійснювати будь які роботи на ділянках, що підлягають випробуванню, перебувати робітникам у камерах, каналах, тунелях, знаходитися навпроти фланцевих з'єднань арматури та трубопроводів, усувати несправності;

– при температури теплоносія у тепловій мережі більше ніж $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$ заміну або ремонт устаткування у тепловому пункті дозволяється проводити тільки після перекриття системи головними засувками на тепловому пункті та засувками на відгалуженні до споживачів у найближчій тепловій камері;

– перебувати робітникам у камерах, траншеях, каналах під час опускання до них труб, арматури або іншого обладнання, а також стояти під любом вантажем, що подається крановим обладнанням, до остаточного його закріплення забороняється;

– під час проведення робіт у тунелях при температурі повітря понад $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ робітники повинні бути одягнені у теплий (ватяний) одяг, а за температури повітря понад $+50^{\circ}\text{C}$ перебування у тунелях забороняється.

Перебування робітників поблизу лазів, люків, водовказівного скла, а також біля регулювальної, запірної та запобіжної арматури, фланцевих з'єднань трубопроводів, що перебувають під тиском, дозволяється тільки у разі виробничої необхідності.

Не дозволяється ходити по трубопроводах, а також інших конструкціях, які не передбачені для цього, а також ставати або спиратись на будь яке огороження.

Заборонено проводити пуск, випробування і короточасну роботу механізмів або пристроїв за відсутності огорожень або у разі їх несправного стану.

У разі появи у процесі виконання робіт будь-якої небезпеки робітники повинні припинити роботу і повідомити про це керівника робіт.

Висновки до розділу 4

1. Охорона праці є важливим напрямком діяльності будь якого підприємства оскільки вона забезпечує збереження здоров'я робітників підприємства та інших осіб, які за необхідністю можуть знаходитися на території підприємства. Вона також сприяє підтриманню продуктивності праці та зменшує вірогідність економічних втрат внаслідок аварійності та сплати різних видів компенсацій.

2. Українське законодавство щодо охорони праці на теплопостачальних підприємствах містить комплекс нормативних документів які всебічно висвітлюють організаційну будову системи охорони праці на підприємстві та безпекові вимоги при виконанні окремих видів робіт.

ВИСНОВКИ:

1. Обґрунтовані напрямки підвищення енергоефективності у сфері централізованого теплопостачання житлових будівель, що спрямовані на скорочення споживання викопного палива та досягнення кліматичної нейтральності за рахунок використання нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії.
2. Обґрунтовано перелік показників які характеризують стан системи теплопостачання населеного пункту та надають можливість оцінювати варіанти розвитку системи централізованого теплопостачання.
3. Представлено методологічний підхід до визначення техніко-економічного потенціалу централізованого теплопостачання та порівняння варіантів розвитку системи централізованого теплопостачання житлових будівель з урахуванням додаткової цілі щодо використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.
4. Використання місцевих відновлювальних джерел енергії у системах централізованого теплопостачання потребує модернізації таких систем з переходом на низькотемпературні графіки постачання тепла або графіки з низькою температурою зворотної води.
5. Для виконання умови, щодо вироблення 50% енергії з відновлювальних та нетрадиційних джерел, яка споживається у системах централізованого теплопостачання, бажано відновити централізовану систему гарячого водопостачання.
6. Окремі житлові кластери міста мають різні умови для впровадження відновлювальних джерел енергії, тому для досягнення в цілому по місту 50% споживаної енергії з відновлювальних та нетрадиційних джерел, необхідно розглядати їх впровадження комплексно для міста, застосовує їх там, де це більш раціонально.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Abdelghhani, Diao & Koochi-Fayegh, Seama & Lund, Henrik & Sorknæs, Peter. (2025). A review on optimization of district energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 225. 10.1016/j.rser.2025.116041.
2. Atabaki, Mohammad & Spirito, Giulia & Sánchez García, Luis & Persson, Urban. (2025). A systematic approach to analyse methodologies for renewables-based district heating potential assessments – A categorisation and literature review. *Smart Energy*. 19. 100201. 10.1016/j.segy.2025.100201.
3. Lund, Henrik & Werner, Sven & Wiltshire, Robin & Svendsen, Svend & Thorsen, Jan & Hvelplund, Frede & Mathiesen, Brian. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 68. 1–11. 10.1016/j.energy.2014.02.089.
4. RETScreen. URL: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. (Дата звернення: 02/11/2025).
5. Sadeghi, Habibollah & Jalali, Ramin & Singh, Rao. (2023). A review of borehole thermal energy storage and its integration into district heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 192. 114236. 10.1016/j.rser.2023.114236.
6. Schmeling, Lucas & Schönfeldt, Patrik & Klement, Peter & Vorspel, Lena & Hanke, Benedikt & von Maydell, Karsten & Agert, Carsten. (2022). A generalised optimal design methodology for distributed energy systems. *Renewable Energy*. 200. 10.1016/j.renene.2022.10.029.
7. Spirito, Giulia & Denarie, Alice & Fattori, Fabrizio & Muliere, Giuseppe & Motta, Mario & Persson, Urban. (2024). Assessing District Heating Potential at Large Scale: Presentation and Application of a Spatially-Detailed Model to Optimally Match Heat Sources and Demands. 10.1016/j.apenergy.2024.123844.
8. The International Renewable Energy Agency. Fifth-generation DHC systems. Overview of the status and impact of the innovation. URL:

<https://www.irena.org/Innovation-landscape-for-smart-electrification/Power-to-heat-and-cooling/9-Fifth-generation-DHC-systems>. (Дата звернення: 03/11/2025).

9. ДБН В.2.5-39:2008 Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-204>. (Дата звернення: 08/11/2025).

10. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». URL: http://minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/texnichne-regulyuvannya/normuvannja/DBN/2014/DBN_V.2.5-67_2013.pdf. (Дата звернення: 01/11/2025).

11. ДБН В.2.5-77:2014 "Котельні". URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3200408674656846852?doc_type=2. (Дата звернення: 01/11/2025).

12. Державна цільова економічна програма енергетичної модернізації підприємств-виробників теплової енергії, що перебувають у державній або комунальній власності, на період до 2030 року, затверджена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 1 жовтня 2025 р. № 1083-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1083-2025-%D1%80#n13>. (Дата звернення: 03/11/2025).

13. ДСТУ 2155-93 «Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню». – К. : Держстандарт України, 1994. – 19 с.

14. ДСТУ 4065-2001 «Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ)». – К. : Держстандарт України, 2002. – 43 с.

15. ДСТУ 4110-2002 «Енергоощадність. Методика аналізу та розрахування питомих витрат енергоресурсів (ANSI/IEEE 739:1995, NEQ)». – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 33 с.

16. ДСТУ EN 16247-1:2015 «Енергетичні аудити. Частина 1. Загальні вимоги (EN 16247-1:2012, IDT)». URL:

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68397. (Дата звернення: 02/11/2025).

17. ДСТУ ISO 17741:2017 «Загальні технічні правила вимірювання, розрахунку та верифікації обсягів енергозбереження в проектах (ISO 17741:2016, IDT)». URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73399. (Дата звернення: 14/11/2025).

18. ДСТУ ISO 50002:2016 (ISO 50002:2014, IDT) «Енергетичні аудити. Вимоги та настанова щодо їх проведення». URL: <http://normativ.com.ua/types/tdoc28703.php>. (Дата звернення: 11/11/2025).

19. ДСТУ ISO 50006:2016 «Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої/досяжної енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення та настанова (ISO 50006:2014, IDT)». URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=64377. (Дата звернення: 05/11/2025).

20. ДСТУ Б А.2.2-8:2010 «Проектування. Розділ "Енергоефективність" у складі проектної документації об'єктів». URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_a_2_2_8/5-1-0-1111. (Дата звернення: 10/11/2025).

21. ДСТУ Б В.2.5-44:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування систем опалення будівель з тепловими насосами (EN 154550:2007, MOD). URL: <https://profidom.com.ua/v-2/v-2-5/1802-dstu-n-b-v-2-5-452010-nastanova-z-projektuvanna-montazhu-ta-jekspluataciji-vnutrishnih-sistem-kholodnogo-ta-garachogo-vodopostachanna-opalenna-j-oholodzhenna-z-vikoristannam-midnih-bezshovnih-kruglih-trub>. (Дата звернення: 01/11/2025).

22. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія». URL: http://dbn.at.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_27_2010/5-1-0-929. (Дата звернення: 07/11/2025).

23. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках

житлового і громадського призначення. URL: https://dnaop.com/html/60697/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-%D0%9D_%D0%91_%D0%92.2.5-43_2010. (Дата звернення: 01/11/2025).

24. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf>. (Дата звернення: 04/11/2025).

25. Закон України «Про енергозбереження»: введено в дію постановою Верховної Ради України 75/94-ВР від 01.07.1994. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80#Text>. (Дата звернення: 01/11/2025).

26. Закон України «Про теплопостачання»: введено в дію постановою Верховної Ради України №2633-IV від 02.06.2005. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2633-15#Text>. (Дата звернення: 13/11/2025).

27. КТМ 204 України 244-94 «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61012. (Дата звернення: 08/11/2025).

28. Купчак В.Р., Павлова О.М., Павлов К.В., Лагодієнко В.В. Формування та регулювання регіональних енергетичних систем: теорія, методологія та практика : Монографія / В. Р. Купчак, О.М. Павлова, К.В. Павлов, В.В. Лагодієнко. – Луцьк: СПД Гадяк Ж.В., друкарня «Волиньполіграф», 2019. – 346 с.

29. Методика розроблення схем теплопостачання населених пунктів України, затверджена наказом Міністерства розвитку громад та територій України 02 жовтня 2020 року № 235. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1144-20#Text>. (Дата звернення: 08/11/2025).

30. Мінфін. Тарифи на електроенергію у 2025 році. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/>. (Дата звернення: 26/10/2025).

31. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року, затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 13 серпня 2024 р. № 761-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text>. (Дата звернення: 03/11/2025).

32. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року, затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від «25» червня 2024 р. № 587-р. URL: <https://me.gov.ua/Documents/Detail?lang=uk-UA&id=17f558a7-b4b4-42ca-b662-2811f42d4a33&title=NatsionalniiPlanZEnergetikiTaKlimatuNaPeriodDo2030-Roku>. (Дата звернення: 03/11/2025).

33. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економіко-математичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гаврися – Х.: НТУ "ХПІ", 2015. – 209 с.

34. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском, затверджені Наказом Міністерства соціальної політики України № 333 від 05.03.2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0433-18#Text>. (Дата звернення: 03/11/2025).

35. Правила охорони праці під час експлуатації тепломеханічного обладнання електростанцій, теплових мереж і тепловикористовувальних установок, затверджені Наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 892 від 02.12.2013. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z2127-13#Text>. (Дата звернення: 03/11/2025).

36. Правила технічної експлуатації теплових установок і мереж, затверджені Наказом Міністерства палива та енергетики України № 71 від 14.02.2007. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0197-07#Text>. (Дата звернення: 03/11/2025).

37. Про внесення змін до рішення виконавчого комітету Миколаївської міської ради від 14.06.2019 № 600 «Про погодження температурних графіків центрального регулювання систем теплопостачання ОКП «Миколаївоблтеплоенерго». Прийнято рішенням Миколаївської міської ради

№775 від 26 липня 2019 р. URL: <https://mkrada.gov.ua/documents/32338.html>.
(Дата звернення: 26/10/2025).

38. Про встановлення ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» двоставкових тарифів на теплову енергію, послугу з постачання теплової енергії та транспортування теплової енергії ПрАТ «Миколаївська ТЕЦ» тепловими мережами підприємства. Прийнято рішенням Миколаївської міської ради № 1793 від 23 жовтня 2024 р. URL: <https://mkrada.gov.ua/documents/45957.html>.
(Дата звернення: 26/10/2025).

39. Про встановлення ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» двоставкових тарифів на теплову енергію, послугу з постачання теплової енергії та транспортування теплової енергії ПрАТ «Миколаївська ТЕЦ» тепловими мережами підприємства. Прийнято рішенням Миколаївської міської ради № 895 від 25 червня 2025 р. <https://mkrada.gov.ua/documents/48876.html>. (Дата звернення: 26/10/2025).

40. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>. (Дата звернення: 04/11/2025).

41. Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum_ru.html. (Дата звернення: 05/11/2025).

42. Системи централізованого теплопостачання з інтеграцією відновлювальних джерел енергії : монографія / О. П. Арсеньєва, В. М. Бабаєв, І. В. Білецький, І. В. Блінов, В. В. Гранкіна, С. І. Планковський, В. Є. Плюгін, Т. Є. Романова, А. Ю. Старостіна, М. К. Сухонос, Н. О. Телюра, Є. В. Цегельник ; [за ред. О. П. Арсеньєвої] ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 217 с.

43. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні : у 2 кн. / І. М. Карп [та ін.]. Кн. 1 / ІГ НАНУ, ІТТФ НАНУ. — Київ : Наук. думка, 2021. — 263 с.

44. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні : у 2 кн. / І. М. Карп [та ін.]. Кн. 2 / ІГ НАНУ, ІТТФ НАНУ. — Київ : Наук. думка, 2022. — 176 с.

45. Станиціна В., Нечаєва Т., Троханяк В., Горський В., Тесленко О. Технології електрогенерації та теплопостачання для підвищення енергетичної незалежності окремих територіальних громад. Системні дослідження в енергетиці. 2023. № 4. С. 32-44. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001443962>. (Дата звернення: 28/10/2025).

46. Тариф на послуги з передачі електричної енергії, що діє з 01 січня 2025 року. НКРЕКП. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diynosti/elektroenergiya/promislovist/tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-nepobutovih-spozvivachiv/tarif-na-poslugi-z-peredachi-elektrichnoyi-energiyi/tarif-na-poslugi-z-peredachi-elektrichnoyi-energiyi-shcho-diye-z-01-sichnya-2025-roku>. (Дата звернення: 26/10/2025).

47. Теплозабезпечення великих міст України: поточний стан і напрями модернізації : кол. моногр. / за ред. М. О. Кизима, Є. І. Котлярова; авт. кол. : Кизим М. О., Котляров Є. І., Хаустова В. Є., Салашенко Т. І., Красноносова О. М., Костенко Д. М., Крячко Є. М., Пономаренко Є. В., Рудика О. В., Хаустов М. М. Харків : ФОП Лібуркіна Л.М., 2021. — 340 с.

48. Типова методика «Загальні вимоги до організації та проведення енергетичного аудиту», затверджена наказом Національного агентства України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів від 20.05.2010 №56. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0056656-10>. (Дата звернення: 03/11/2025).

49. ТОВ ГК "Нафтогаз України". Для бізнесу. Тарифи. URL: <https://gas.ua/uk/business/tariffs>. (Дата звернення: 26/10/2025).

50. Формування технологічних структур енергонезалежних громад : монографія / за заг. ред. В. В. Каплуна / Національний університет біоресурсів і природокористування України ; Інститут загальної енергетики НАН України. — Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. — 312 с.

ДОДАТКИ

Таблиця Д.1 – Температура зовнішнього повітря у м. Миколаїв [22]

Температура повітря, °С							Період із середньою добовою температурою повітря					
Середня за рік	холодного періоду				теплого періоду		≤8 °С		≤10 °С		≥21 °С	
	найхолодніша доба забезпеченістю		найхолодніша п'ятиденка забезпеченістю		найжаркіша доба забезпеченістю 0,95	найжаркіша п'ятиденка забезпеченістю 0,99	тривалість, діб	середня температура, °С	тривалість, діб	середня температура, °С	тривалість, діб	середня температура, °С
	0,98	0,92	0,98	0,92								
10,1	-26	-23	-22	-20	30	25	161	1,1	178	2,0	75	22,3

Таблиця Д.2 – Дати переходу середньої добової температури повітря через 8 °С та 10 °С восени та навесні (дати початку та закінчення опалювального періоду) у м. Миколаїв [22]

Дати опалювального періоду			
перехід через 8 °С		перехід через 10 °С	
початок	закінчення	початок	закінчення
27.X	6.IV	18.X	14.IV

Таблиця Д.3 – Середня місячна температура зовнішнього повітря у м. Миколаїв [22]

Середня місячна температура повітря, °С											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-2,6	-1,6	2,8	10,2	16,4	20,3	22,7	22,0	16,8	10,4	4,2	-0,4

Таблиця Д.4 – Дані по швидкості вітру у м. Миколаїв [22]

Переважний напрям вітру, його повторюваність по місяцях, %											
Середня швидкість вітру по місяцях, м/с											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
<u>Пн.</u> <u>20</u> 4,0	<u>ПнСх.</u> <u>19</u> 4,2	<u>ПнСх.</u> <u>18</u> 4,1	<u>Пд.</u> <u>22</u> 3,9	<u>Пд.</u> <u>19</u> 3,8	<u>Пд.</u> <u>18</u> 3,4	<u>Пн.</u> <u>26</u> 3,3	<u>Пн.</u> <u>25</u> 3,2	<u>ПнЗ.</u> <u>19</u> 3,2	<u>Пн.</u> <u>17</u> 3,4	<u>Сх.</u> <u>17</u> 3,9	<u>Пн.</u> <u>16</u> 3,9

Таблиця Д.5 – Середньомісячні дози сонячної радіації, що надходить на горизонтальну та вертикальну поверхні різної орієнтації за середніх умов хмарності у м. Миколаїв, МДж/(м²) [22]

Місяць	Сонячна радіація $\frac{\text{пряма}}{\text{розсіяна}}$, МДж/м ²								
	орієнтація								
	вертикальна								горизон- тальна
	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ	
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	$\frac{0}{36}$	$\frac{0}{36}$	$\frac{20}{39}$	$\frac{66}{43}$	$\frac{104}{44}$	$\frac{75}{42}$	$\frac{25}{39}$	$\frac{1}{36}$	$\frac{34}{68}$
II	$\frac{0}{54}$	$\frac{4}{55}$	$\frac{28}{59}$	$\frac{78}{64}$	$\frac{120}{66}$	$\frac{87}{63}$	$\frac{38}{58}$	$\frac{4}{55}$	$\frac{58}{104}$
III	$\frac{0}{81}$	$\frac{16}{85}$	$\frac{57}{92}$	$\frac{113}{96}$	$\frac{172}{97}$	$\frac{120}{95}$	$\frac{70}{91}$	$\frac{16}{85}$	$\frac{123}{171}$
IV	$\frac{4}{101}$	$\frac{42}{109}$	$\frac{103}{114}$	$\frac{143}{118}$	$\frac{137}{121}$	$\frac{134}{119}$	$\frac{95}{116}$	$\frac{38}{110}$	$\frac{210}{224}$
V	$\frac{17}{132}$	$\frac{80}{139}$	$\frac{151}{145}$	$\frac{164}{143}$	$\frac{127}{143}$	$\frac{157}{144}$	$\frac{134}{147}$	$\frac{74}{139}$	$\frac{335}{276}$
VI	$\frac{34}{141}$	$\frac{101}{147}$	$\frac{165}{153}$	$\frac{150}{150}$	$\frac{109}{148}$	$\frac{150}{150}$	$\frac{143}{155}$	$\frac{84}{148}$	$\frac{375}{290}$
VII	$\frac{30}{140}$	$\frac{95}{147}$	$\frac{171}{154}$	$\frac{167}{150}$	$\frac{129}{148}$	$\frac{160}{150}$	$\frac{160}{155}$	$\frac{95}{147}$	$\frac{380}{286}$
VIII	$\frac{7}{113}$	$\frac{75}{120}$	$\frac{156}{129}$	$\frac{194}{134}$	$\frac{187}{130}$	$\frac{194}{134}$	$\frac{143}{132}$	$\frac{71}{120}$	$\frac{340}{242}$
IX	$\frac{0}{78}$	$\frac{38}{84}$	$\frac{125}{90}$	$\frac{193}{99}$	$\frac{216}{103}$	$\frac{194}{99}$	$\frac{113}{93}$	$\frac{36}{85}$	$\frac{240}{176}$
X	$\frac{0}{56}$	$\frac{12}{57}$	$\frac{77}{64}$	$\frac{163}{72}$	$\frac{209}{76}$	$\frac{161}{73}$	$\frac{68}{64}$	$\frac{11}{57}$	$\frac{135}{127}$
XI	$\frac{0}{30}$	$\frac{1}{32}$	$\frac{22}{33}$	$\frac{65}{35}$	$\frac{95}{37}$	$\frac{70}{35}$	$\frac{22}{33}$	$\frac{2}{32}$	$\frac{38}{68}$
XII	$\frac{0}{26}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{14}{28}$	$\frac{53}{31}$	$\frac{77}{32}$	$\frac{54}{30}$	$\frac{16}{28}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{23}{54}$

Таблиця Д.6 – Структура двоставкових тарифів на теплову енергію та послугу з постачання теплової енергії ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» при виробництві, транспортуванні теплової енергії без урахування витрат на утримання ЦТП, та постачання без урахування витрат на утримання ІТП (без ПДВ) [38]

№ з/п	Найменування показників	Одиниця виміру	Для потреб бюджетних установ	Для потреб інших споживачів	Для потреб релігійних організацій
1	2	3	4	5	6
1	Загальний обсяг відпуску теплової енергії з колекторів (крім систем автономного	Гкал	49 031,5031	4 628,6928	5,8904

	опалення) без врахування обсягу теплової енергії на господарські потреби ліцензованої діяльності				
2	Річний обсяг реалізації теплової енергії власним споживачам	Гкал	43 546,2393	4 087,7807	5,1958
3	Річний обсяг реалізації теплової енергії власним споживачам (без ЦТП)	Гкал	38 156,6110	3 720,4289	5,1958
4	Теплове навантаження об'єктів теплоспоживання власних споживачів	Гкал/год	30,02422	3,18022	0,00367
5	Теплове навантаження об'єктів теплоспоживання власних споживачів (без ЦТП)	Гкал/год	26,30615	2,91254	0,00367
6	Річний обсяг реалізації теплової енергії власним споживачам (без ІТП)	Гкал	43 191,1644	3 872,7091	5,1958
7	Теплове навантаження об'єктів теплоспоживання власних споживачів (без ІТП)	Гкал/год	29,77927	3,02351	0,00367
Виробництво теплової енергії, умовно-змінні витрати					
8	Собівартість виробництва теплової енергії, у тому числі:	тис. грн	93 807,08	8 819,95	11,22
8.1	Паливо (без витрат на розподіл природного газу)	тис. грн	90 991,34	8 585,91	10,96
8.2	електроенергія	тис. грн	2 208,50	208,28	0,27
8.3	витрати на покупну теплову енергію	тис. грн	607,24	25,76	0,00
9	Вартість виробництва теплової енергії умовно-змінна	грн/Гкал	2 154,19	2 157,64	2 160,07
Виробництво теплової енергії, умовно-постійні витрати					
10	Собівартість виробництва без палива, електроенергії та покупного тепла	тис. грн	42 360,59	4 402,16	5,23
11	Плановий прибуток в тарифах на виробництво теплової енергії	тис. грн	12 830,61	1 228,59	1,55
12	Вартість виробництва теплової енергії	тис. грн	55 191,202	5 630,747	6,778
13	Місячна плата за виробництво теплової енергії на одиницю теплового навантаження	грн/Гкал/год	153 185,23	147 545,98	153 912,36
Транспортування теплової енергії, умовно-змінні витрати (без урахування витрат на утримання центральних теплових пунктів)					

14	Електроенергія	тис. грн	4 656,59	454,04	0,634
15	Вартість транспортування теплової енергії умовно-змінна	грн/Гкал	122,04	122,04	122,04
Транспортування теплової енергії, умовно-постійні витрати (без урахування витрат на утримання центральних теплових пунктів)					
16	Собівартість транспортування теплової енергії	тис. грн	9 826,30	1 087,94	1,3709
17	Плановий прибуток в тарифах на транспортування теплової енергії	тис. грн	4 414,45	485,75	0,6151
18	Місячна плата за транспортування теплової енергії на одиницю теплового навантаження	грн/Гкал /год	45 112,24	45 026,37	45 095,01
Постачання теплової енергії, умовно-постійні витрати (без урахування витрат на утримання індивідуальних теплових пунктів)					
19	Собівартість постачання теплової енергії	тис. грн	642,69	65,25	0,08
20	Плановий прибуток в тарифах на постачання теплової енергії	тис. грн	31,35	3,18	0,00
21	Місячна плата за постачання теплової енергії на одиницю теплового навантаження	грн / Гкал /год	1 886,21	1 886,21	1 886,21
Двоставкові тарифи на теплову енергію для кінцевих споживачів					
22	Умовно-змінна частина двоставкового тарифу на теплову енергію	грн/Гкал	2 276,23	2 279,68	2 282,11
23	Умовно-постійна частина двоставкового тарифу на теплову енергію – місячна плата на одиницю теплового навантаження	грн / Гкал /год	200 183,68	194 458,56	200 893,58
Двоставкові тарифи на послугу з постачання теплової енергії для кінцевих споживачів з ПДВ					
24	Умовно-змінна частина двоставкового тарифу на послугу з постачання теплової енергії	грн/Гкал	2 731,48	2 735,62	2 738,53
25	Умовно-постійна частина двоставкового тарифу на послугу з постачання теплової енергії – місячна плата на одиницю теплового навантаження	грн/Гкал /год	240 220,42	233 350,27	241 072,30

Таблиця Д.7 – Структура тарифів на виробництво теплової енергії для населення (без ПДВ) [39]

№ з/п	Найменування показників	Для потреб населення		Умовно-змінні витрати	Умовно-постійні витрати
		грн/Гкал	тис. грн	грн/Гкал	грн/Гкал/год
I	Тарифи на виробництво теплової енергії (для одноставкового вираження (п. 6*п. 7+ п. 8*п. 9+п. 10+п. 11)/п. 13)	1 269,84	х	888,84	77 693,64
II	Структура тарифів на виробництво теплової енергії, тис. грн				
1	Виробнича собівартість виробництва теплової енергії власними котельнями, у тому числі:	1 158,31	401 433,95	267 645,21	133 788,74
1.1	прямі матеріальні витрати, у тому числі:	945,45	327 661,13	267 645,21	60 015,92
1.1.1	витрати на паливо для виробництва теплової енергії	922,97	319 871,56	260 889,62	58 981,94
1.1.2	витрати на електричну енергію для технологічних потреб	19,49	6 755,59	6 755,59	0,00
1.1.3	витрати на воду для технологічних потреб та водовідведення	0,36	125,06	0,00	125,06
1.1.4	матеріали, запасні частини та інші матеріальні ресурси	2,62	908,91	0,00	908,91
1.2	прямі витрати на оплату праці	156,60	54 270,90	0,00	54 270,90
1.3	інші прямі витрати, у тому числі:	54,07	18 738,74	0,00	18 738,74
1.3.1	відрахування на соціальні заходи	34,45	11 939,60	0,00	11 939,60
1.3.2	амортизаційні відрахування	6,51	2 256,51	0,00	2 256,51
1.3.3	внески на регулювання	0,76	264,31	0,00	264,31
1.3.4	інші прямі витрати	12,34	4 278,32	0,00	4 278,32
1.4	загальновиробничі витрати, у тому числі:	2,20	763,17	0,00	763,17
1.4.1	витрати на оплату праці	1,73	598,68	0,00	598,68
1.4.2	відрахування на соціальні заходи	0,38	131,71	0,00	131,71
1.4.3	амортизаційні відрахування	0,07	23,89	0,00	23,89
1.4.4	інші витрати	0,03	8,89	0,00	8,89

2	Адміністративні витрати виробництва теплової енергії власними котельнями, у тому числі:	36,99	12 817,88	0,00	12 817,88
2.1	витрати на оплату праці	28,20	9 774,61	0,00	9 774,61
2.2	відрахування на соціальні заходи	6,20	2 150,41	0,00	2 150,41
2.3	амортизаційні відрахування	0,56	195,75	0,00	195,75
2.4	інші витрати	2,01	697,11	0,00	697,11
3	Інші операційні витрати	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Фінансові витрати	0,59	203,39	0,00	203,39
5	Розрахунковий прибуток виробництва теплової енергії власними котельнями, усього, у тому числі:	30,78	10 668,54	0,00	10 668,54
5.1	податок на прибуток	5,54	1 920,34	0,00	1 920,34
5.2	на розвиток виробництва (виробничі інвестиції)	1,34	464,39	0,00	464,39
5.3	інше використання прибутку	23,90	8 283,82	0,00	8 283,82
6	Вартість виробництва теплової енергії власними котельнями	1 226,67	425 123,75	267 645,21	157 478,55
7	Обсяг відпуску теплової енергії з колекторів власних котелень, Гкал	346 567,73	x	x	x
8	Витрати на придбання теплової енергії в інших суб'єктів господарювання	1 108,43	4 767,68	4 767,68	0,00
9	Обсяг покупної теплової енергії, Гкал	4 301,29	4 301,29	x	x
10	Витрати на покриття втрат	54,87	19 250,99	0,00	19 250,99
11	Коригування витрат	-10,24	-3 593,31	0,00	-3 593,31
12	Вартість виробництва теплової енергії	x	445 549,10	272 412,89	173 136,21
13	Загальний обсяг відпуску теплової енергії, Гкал	350 869,02	350 869,02	x	x
14	Річний обсяг реалізації теплової енергії власним споживачам, Гкал	306 481,20	x	x	x
15	Теплове навантаження об'єктів теплоспоживання власних споживачів ліцензіата	185,70397	x	x	x

Таблиця Д.8 – Температурні графіки центрального регулювання систем тепlopостачання ОКП «Миколаївоблтеплоенерго» [37]

Зовнішня температура повітря Т _{зов} , °С	Температурні графіки		
	*80-55	**95-55	Т зворотна, °С
	Т подавальна, °С	Т подавальна, °С	
-20	80	95	55
-19	79	93	54
-18	77	92	54
-17	76	90	53
-16	75	89	53
-15	74	87	52
-14	72	85	51
-13	71	84	51
-12	70	82	50
-11	68	80	49
-10	67	79	49
-9	66	77	48
-8	64	75	47
-7	63	74	47
-6	62	72	46
-5	60	70	45
-4	59	69	45
-3	58	67	44
-2	56	65	43
-1	55	63	42
0	54	62	42
1	52	60	41
2	51	58	40
3	49	56	39
4	48	54	38
5	46	53	38
6	45	51	37
7	43	49	36
8	42	47	35
9	40	45	34
10	39	43	33

*— для квартальних котельнь та топкових, ** — для районних котельнь

Таблиця Д.9 – Тарифи на передачу електроенергії для непобутових споживачів (з 1.01.2025 по теперішній час) [46]

	ПРАТ "НЕК Укренерго"	Тариф (грн. за 1 МВт-год., без ПДВ)
1	Послуги з передачі електричної енергії	686,23
	в т.ч. підтримка виробників електроенергії з альтернативних джерел	331,67
2	Тариф на послуги з передачі електричної енергії для підприємств «зеленої» електрометалургії	359,55

Таблиця Д.10 – Тарифи на розподіл електроенергії для непобутових споживачів з 1 січня 2025 року [46]

Постачальник (енергорозподільча компанія)	Тариф (грн. за 1 МВт год., без ПДВ)	
	1 клас напруги	2 клас напруги
Миколаївська обл.		
АТ "Миколаївобленерго"	542,42	2311,63
ДПЕМ ПРАТ "Атомсервіс"	88,55	1643.20

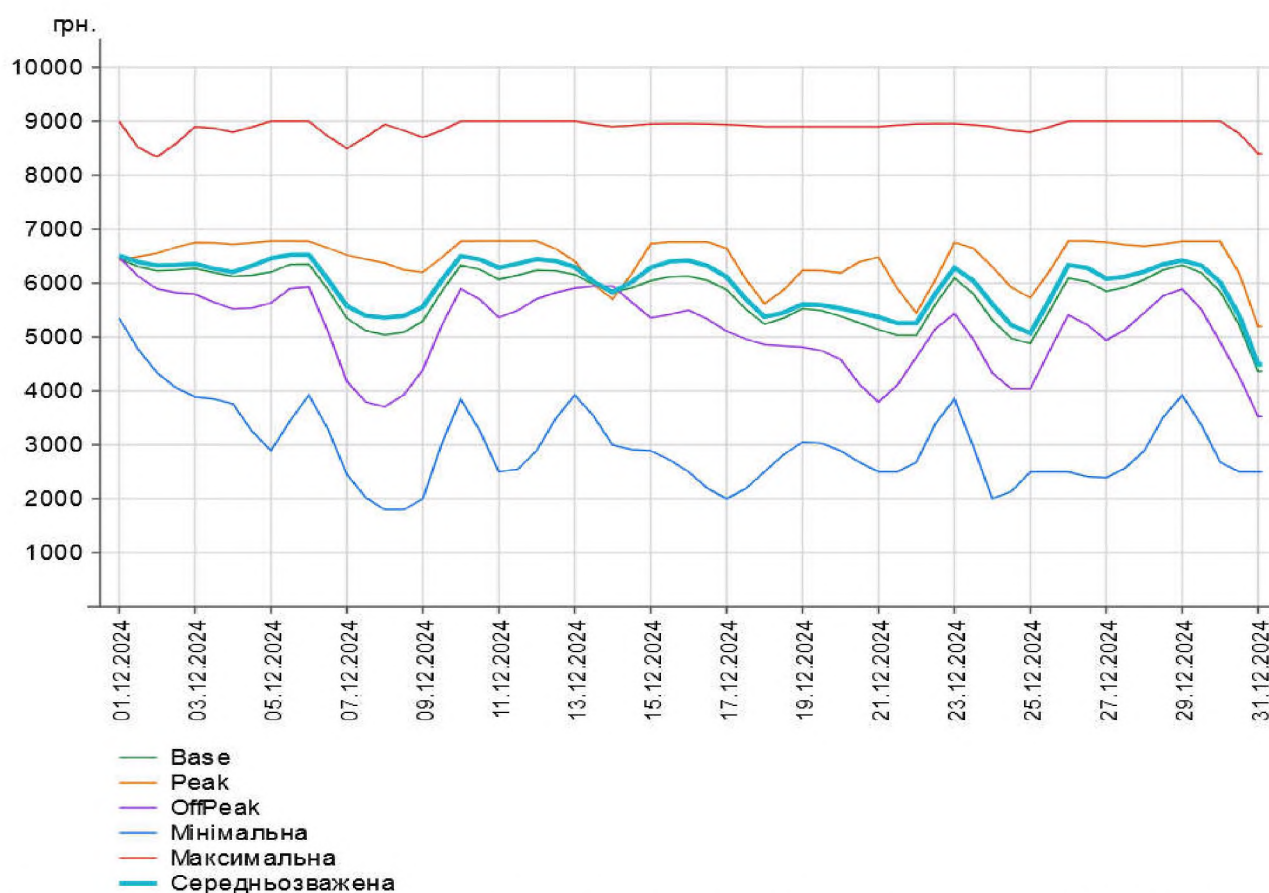


Рисунок Д.1 – Динаміка ринкових цін на електроенергію у грудні 2024 р. (грн. за 1 МВт год., без ПДВ) [30]

Позначення та розподіл доби на періоди наступний:

- період Base – це базове навантаження (здійснення постачання електричної енергії протягом 24 годин з 00:00 до 24:00);
- період Peak – це пікове навантаження (здійснення постачання електричної енергії протягом 12 годин з 08:00 до 20:00);
- період Off-Peak – це позапікове навантаження (здійснення постачання електричної енергії протягом 8 годин з 00:00 до 08:00 та протягом 4 годин з 20:00 до 24:00).