

«КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

На правах рукопису

ГЛАЗКО Костянтин

Миколайович

група ТЕП – 23м

УДК 621.165 : 621.14

**ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ
ПІДПРИЄМСТВ ЗА РАХУНОК УТИЛІЗАЦІЇ
ТЕПЛОВИХ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ**

Спеціальність 144-м – Теплоенергетика

Кваліфікаційна магістерська робота

Керівник
професор, д.т.н.
О.В.Замицький

Кривий Ріг – 2024р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет електротехнічний
Кафедра теплоенергетики
Спеціальність 144 Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ:
 Завідувач кафедри теплоенергетики

 Замицький О.В.
 «_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

_____ Глазко Костянтин Миколайович _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: **Дослідження шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів.**

Затверджена наказом по університету від « 05 » 07 2024 р. №604с

2. Термін здачі студентом закінченої роботи *грудень*
 3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

РОЗДІЛ 1. Аналіз технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності теплових мереж теплопостачання промислових підприємств

РОЗДІЛ 2. Дослідження іноваційних способів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств

РОЗДІЛ 3. Закономірності процесів спільної роботи теплової мережі і пристрої по утилізації теплових втрат в каналі теплотраси

РОЗДІЛ 4. Розробка рекомендацій по впровадженню шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Оцінка потенціалу енергозбереження у мережах централізованих систем теплопостачання промислових підприємств
2. Інженерні рішення енергозберігаючих технологій
3. Оцінка впливу роботи пристрою з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси на тепловий режим роботи теплової мережі
4. Підвищення енергетичної ефективності роботи теплових мереж за рахунок утилізації теплових втрат.

5. Дата видачі завдання червень

Керівник _____
(підпис)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання атестаційної роботи магістра

№№ пп	Назва етапів атестаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	08 серпня	виконано
2	Аналіз технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності теплових мереж теплопостачання промислових підприємств	09 серпня – 20 вересня	виконано
3	Дослідження іноваційних способів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств	21 вересня – 20 жовтня	виконано
4	Закономірності процесів спільної роботи теплової мережі і пристрої по утилізації теплових втрат в каналі теплотраси	21 жовтня – 15 листопада	виконано
5	Розробка рекомендацій по впровадженню шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів	16 листопада – 25 листопада	Виконано
6	Висновки	26 листопада	виконано
7	Список використаних джерел	30 листопада	виконано
8	Представлення роботи на антиплагіат	1-6 грудня	виконано

Студент _____
(підпис)

Керівник _____
(підпис)

Допущено до перевірки на академічну доброчесність.

Керівник _____
(підпис)

Завідувач кафедри _____
(підпис)

Анотація

Ефективність систем централізованого теплопостачання безпосередньо залежить від якості теплових мереж, обумовленої багатьма факторами, серед яких, втрати теплової енергії через ізоляцію трубопроводів і накопичений досі моральний і фізичний знос, що свідчить про необхідність вжиття заходів щодо підвищення енергетичної ефективності, модернізації та технологічного розвитку теплових мереж. Зниження теплових втрат через ізоляцію трубопроводів у існуючих системах теплопостачання є актуальним завданням.

Дана магістерська робота спрямована на розробку та дослідження технічного рішення, призначеного для граничного скорочення, до винятку, питомих лінійних теплових втрат у теплових мережах. Технічне рішення призначене для підвищення ефективності роботи теплових мереж у нормальних умовах, що не передбачають зволоження ізоляції, порушення її цілісності та зміни її теплофізичних властивостей.

У магістерській дисертації було проведено аналіз технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності теплових мереж теплопостачання промислових підприємств.

Досліджено іноваційні способи підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств.

Встановлено закономірності процесів спільної роботи теплової мережі і пристрої по утилізації теплових втрат в каналі теплотраси.

Розроблено рекомендації по впровадженню шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів

Ключові слова: теплопостачання, тепла мережа, тепло, утилізація, ефективність, ізоляція.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЦТ - централізоване тепlopостачання;

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

ОДК - оперативного дистанційного контролю;

ППМ - пінополімермінеральна;

ППУ - пінополіуретанова;

ГВП - система гарячого водопостачання;

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	8
Аналіз технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності теплових мереж теплопостачання промислових підприємств	
1.1 Оцінка потенціалу енергозбереження у мережах централізованих систем теплопостачання промислових підприємств	8
1.2 Аналіз сучасних технічних рішень щодо скорочення питомих лінійних теплових втрат у мережах теплопостачання.	13
1.3 Висновки за розділом 1	24
Розділ 2. Дослідження іноваційних способів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств	25
2.1 Когенераційні технології та системи як напрям розвитку енергетики	25
2.2 Технічні рішення теплових схем при когенерації на котельнях з використанням ORC контуру	27
2.3 Висновки за розділом 2.	32
Розділ 3 Закономірності процесів спільної роботи теплової мережі і пристрої по утилізації теплових втрат в каналі теплотраси	33
3.1 Чисельне моделювання процесів теплообміну в тепловій мережі	33
3.2 Оцінка впливу роботи пристрою з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси на тепловий режим роботи теплової мережі	40

3.3	Висновок за розділом 3	49
	Розділ 4. Розробка рекомендацій по впровадженню шляхів підвищення ефективності систем тепlopостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів	51
4.1	Впровадження в системах тепlopостачання промислових підприємств тепловідбивного екрану.	51
4.2	Підвищення енергетичної ефективності роботи теплових мереж за рахунок утилізації теплових втрат.	54
4.3	Висновки за розділом 4	60
	ВИСНОВКИ	62
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день підвищення ефективності енергетичних об'єктів, зокрема, систем теплопостачання є одним із пріоритетних напрямів розвитку України.

Система теплопостачання є сукупність трьох взаємозалежних елементів: джерела, споживача і комунікацій як теплових мереж.

Ефективність систем централізованого теплопостачання безпосередньо залежить від якості теплових мереж, обумовленої багатьма факторами, серед яких, втрати теплової енергії через ізоляцію трубопроводів і накопичений досі моральний і фізичний знос, що свідчить про необхідність вжиття заходів щодо підвищення енергетичної ефективності, модернізації та технологічного розвитку теплових мереж.

Зниження теплових втрат через ізоляцію трубопроводів у існуючих системах теплопостачання є актуальним завданням.

Дана магістерська робота спрямована на розробку та дослідження технічного рішення, призначеного для граничного скорочення, до винятку, питомих лінійних теплових втрат у теплових мережах. Технічне рішення призначене для підвищення ефективності роботи теплових мереж у нормальних умовах, що не передбачають зволоження ізоляції, порушення її цілісності та зміни її теплофізичних властивостей.

Таким чином, актуальним є вирішення задачі щодо підвищення ефективності теплових мереж шляхом застосування енергоефективних шляхів використання, одним з яких може бути використання ВЕР, а саме утилізації теплових втрат у каналі теплотраси.

Розробка рішень, що забезпечують ефективність систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів є **актуальним науковим завданням.**

Мета і завдання дослідження. Метою дипломної роботи магістра є дослідження шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів. Для досягнення вказаної мети в роботі вирішувались наступні задачі:

1. Провести аналіз технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності теплових мереж теплопостачання промислових підприємств.
2. Провести дослідження іноваційних способів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств.
3. Описати закономірності процесів спільної роботи теплової мережі і пристрої по утилізації теплових втрат в каналі теплотраси.
4. Розробити рекомендації по впровадженню шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів

Об'єкт дослідження. Процеси що протікають при використанні систем теплопостачання промислових підприємств.

Предмет дослідження. Параметри теплообмінних процесів у систем теплопостачання промислових підприємств.

Методи дослідження. Узагальнення відомих наукових і технічних результатів, теоретичні та аналітичні методи дослідження шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні та вирішенні наукової задачі підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств.

Наукове значення роботи. Вперше розглянута методика оцінювання шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств.

Практичне значення отриманих результатів. Розробка рекомендацій до шляхів підвищення ефективності систем тепlopостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів. Результати дослідження можуть бути використані при розробці та проектуванні нових ефективних шляхів підвищення ефективності систем тепlopостачання промислових підприємств.

Структура роботи. Дипломна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 52 найменувань. Загальний обсяг дипломної роботи становить 70 сторінок, 22 рисунки та 2-х таблиць .

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ З ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

1.1 Оцінка потенціалу енергозбереження у мережах централізованих систем теплопостачання промислових підприємств

Перед війною сектор централізованого теплопостачання (ЦТ) забезпечував опалення приблизно половини житлових багатоквартирних будинків в Україні (83 590 будинків) та 16 267 громадських установ. Окрім цього, близько 40% усіх будівель, підключених до ЦТ, отримували гарячу воду для побутових потреб. [1] Загальна кількість спожитої теплової енергії на опалення та гаряче водопостачання всіма споживачами, під'єднаними до мереж ЦТ (включаючи побутових споживачів, бюджетні установи та промисловість), у 2020 році становила 103,4 ТВт/год. При цьому промислова сфера споживала третину всього тепла. [4]

В Україні основними виробниками теплоносія для опалення та гарячого водопостачання в системах ЦТ є котельні та теплоелектроцентралі (ТЕЦ). У 2015 році ці два типи підприємств забезпечили понад 80% загального обсягу теплової енергії (більше 90%, якщо враховувати ТЕЦ підприємств). Основними джерелами енергії для виробництва теплоносія є природний газ і кам'яне вугілля; протягом останніх років зростає частка біопального. [5]

Структура виробництва тепла різними типами джерел (2015), ТВт/год

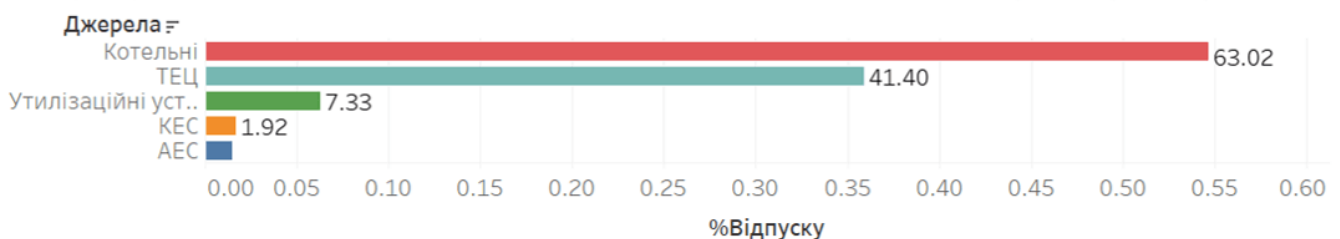


Рис.1.1 Структура виробництва тепла різними типами джерел [5]

Теплоносій до споживачів транспортується через мережу трубопроводів, які зазвичай прокладаються під землею. У 2017 році загальна довжина трубопроводів мережі централізованого тепlopостачання становила 20 100 км у двотрубному вимірі. Найдовші мережі ЦТ розташовані в Києві та Дніпропетровській області. Проте, на кінець 2017 року 38% усіх мереж в Україні були в аварійному стані і вимагали заміни. [4].

Аналізуючи документи про теплові втрати, можна сказати, що динаміка зниження втрат у теплових мережах відповідає показникам комплексного плану заходів щодо підвищення енергетичної ефективності економіки України та передбачає реалізацію заходів, що забезпечують підвищення енергетичної ефективності економіки, щодо підприємств промисловості, регульованих організацій, організацій із державною участю, організацій бюджетної сфери, багатоквартирних будинків [6].

Відповідно до [7], до 2025 року втрати теплової енергії в теплових мережах повинні бути скорочено на 3,2%, а до 2030 року на 5,6% по відношенню до значення теплових втрат, що дорівнює 12,6% у 2016 році. При цьому під втратами теплової енергії розуміється різниця між кількістю поданої в мережу теплової енергії та кількістю спожитого тепла.

Таким чином, мета скорочення теплових втрат за фактичними даними офіційної статистики не досягається.

Як одна з причин зростання втрат [8] можна вказати структуру українських тепломереж по діаметрам трубопроводів. У структурі теплових мереж різних діаметрів основну частку протяжності займають мережі діаметром до 200 мм. Мережі такого діаметра трубопроводів мають найбільші втрати, оскільки на малих діаметрах частка втрат вище, ніж великих. Крім того, вагомими причинами збільшення втрат, зазначених, є старіння теплових мереж, низькі темпи їхнього оновлення, недостатнє застосування сучасних енергоефективних технологій.

Проведена в роботах [13, 14] оцінка температурних полів усередині каналу теплотраси та в прилеглому до нього ґрунті говорить про високу потенційну можливість енергозбереження в теплових мережах.

Водночас застосування централізованих систем теплопостачання має свої недоліки та обмеження. Будівництво протяжних теплотрас до віддалених об'єктів, а також об'єктів у районах з малою щільністю забудови, пов'язане зі значними капітальними вкладеннями та великими тепловими втратами на трасі. Їхня експлуатація згодом також потребує великих витрат. Серйозні проблеми виникають і під час реконструкції існуючих об'єктів та будівництва нових в обжитих міських районах із щільною забудовою та на промислових підприємствах. У цих випадках збільшення теплових навантажень створює для забудовника часто непереборні труднощі, у тому числі фінансові, при отриманні та реалізації технічних умов підключення до районної теплової мережі.

Діючі тарифи на теплову енергію в поєднанні з витратами на підключення до міських теплових мереж змушують все частіше замислюватися над альтернативними способами теплопостачання.

Для обґрунтування доцільності проведення енергозберігаючих заходів у теплових мережах централізованих систем теплопостачання необхідно оцінити енергетичний потенціал теплових втрат. Для досягнення поставленої мети в роботі буде визначено розрахункові значення теплових втрат у теплових мережах системи централізованого теплопостачання, а також температура повітря всередині каналу теплотраси протягом опалювального періоду при відповідних середньомісячних температурах зовнішнього повітря та ґрунту.

Аналіз був проведений для найбільш поширеної в містах, закритої двотрубною системою теплопостачання з підземною прокладкою в непрохідних каналах за різних температурних графіків роботи систем теплопостачання. Діаметр подаючого та зворотного трубопроводів варіювався в діапазоні від 50 до 400 мм. Визначення лінійних теплових втрат каналу теплотраси

проводилося за заданою товщиною ізоляційного шару, прийнятою відповідно до [15, 16] для кліматичних властивостей України [27].

Глибина залягання непрохідного каналу прийнята рівною 1,6 м, аналіз геометричних розмірів каналу проведенний відповідно до рекомендацій, приведених у нормативній документації [18] залежно від внутрішнього діаметру подавального та зворотного трубопроводів. Ізоляція трубопроводів виконана з пінополіуретану в поліетиленовій оболонці, з коефіцієнтом теплопровідності рівним $0,035 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ [16, 19]. Переважним виглядом ґрунту є суглинок із середнім вологовмістом $0,27 \text{ кг}/\text{кг}$ та розрахунковою теплопровідністю $1,86 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$ [16]. Під час аналізу також було враховано втрати теплоти через теплопровідні включення у теплоізоляційних конструкціях, обумовлені наявністю в них кріпильних деталей та опор [10].

На рисунку 1.2 показаний характер зміни значень теплових втрат та температури повітря в каналі теплотраси протягом опалювального періоду на прикладі трубопроводів діаметром 50, 200 та 400 мм.

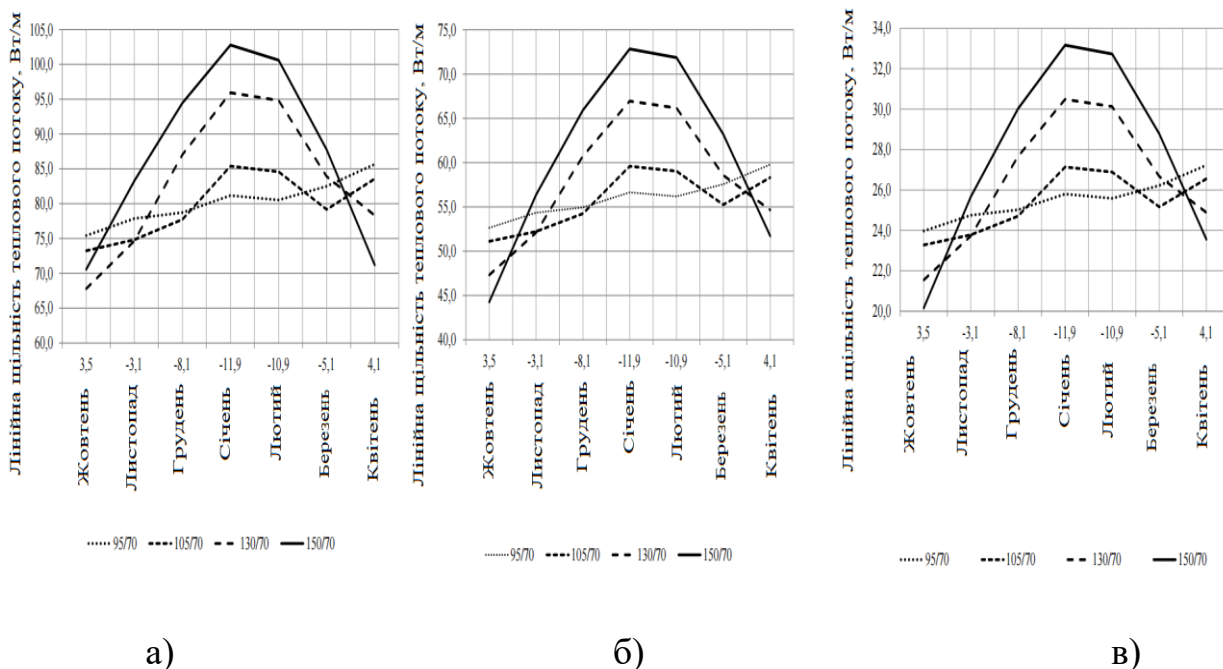


Рис.1.2 Залежність лінійної густини теплового потоку від температури зовнішнього повітря при діаметрі трубопроводу а)400 мм; б) 200мм; в) 500мм.

Аналіз літературних джерел показав що, сумарні річні втрати теплоти з 1 метра теплової мережі в залежності від діаметра трубопроводів показані на рисунку 1.3, з ілюстрації випливає, що для, наприклад, двотрубної теплової мережі, що часто застосовується, діаметром трубопроводу 200 мм з підземною каналною прокладкою в непрохідних каналах втрати складають 1,16 ГДж теплової енергії з одного метра теплової мережі за опалювальний період. У перерахунку на умовне паливо втрати теплоти з одного кілометра теплової мережі за опалювальний період еквівалентні 39,2 тонн умовного палива.



Рис.1.3 Питомі сезонні втрати теплоти залежно від діаметра трубопроводів теплової мережі

Таким чином, теплові мережі, безсумнівно, мають суттєвий потенціал для розробки та застосування систем утилізації теплових ВЕР, які можуть бути використані для вирішення різноманітних інженерних завдань.

1.2 Аналіз сучасних технічних рішень щодо скорочення питомих лінійних теплових втрат у мережах тепlopостачання.

За результатами проведеного інформаційного огляду сучасних технічних рішень щодо скорочення питомих лінійних теплових втрат теплових мережах, що працюють у нормальних умовах, можна виділити три підходи до підвищення ефективності роботи теплових мереж:

- використання сучасних та перспективних теплоізоляційних матеріалів;
- застосування оригінальних технічних рішень, спрямованих на зміну конструкції елементів теплової мережі;
- застосування оригінальних технічних рішень, пов'язаних з використанням теплової енергії, що втрачається в навколишнє середовище.

Найбільш простим і найпоширенішим рішенням є використання сучасних та перспективних теплоізоляційних матеріалів, що дозволяють збільшити термічний опір теплопередачі елементів мережі тепlopостачання [11 – 15]. До таких енергозберігаючих технологій, наприклад, можна віднести:

- використання попередньо ізольованих труб із пінополіуретановою (ППУ) ізоляцією. Перевагами такого виду ізоляції є низький коефіцієнт теплопровідності та можливість виготовлення даної ізоляції разом із системою оперативного дистанційного контролю (ОДК) стану теплової ізоляції, що дозволяє оперативно визначати витoki через теплову ізоляцію теплоносія [16];

- використання попередньо ізолюваних труб із пінополімермінеральною (ППМ) ізоляцією. Трубу з ППМ ізоляцією виготовляють на базі спінюваного полімеру, як правило, закритокомірчастого ППУ, в який впроваджується заповнювач, зазвичай, мінеральний. ППМ ізоляцію відносять до одного із видів газонаповнених пластмас. Композиція полімеру та мінерального заповнювача є сумішшю, тобто хімічна реакція між наповнювачем та полімером відсутня. Мінеральний заповнювач істотно змінює фізико-механічні властивості ППМ композиту, насамперед, підвищує механічну міцність. Матеріал наноситься на зовнішню поверхню сталеві труби. Труба ППМІ складається з трьох основних шарів: шар антикорозійного захисту товщиною – це шар із відмінною адгезією до сталі, яку він захищає від зовнішніх впливів та корозії; теплоізоляційний пористий шар; шар механічного та гідроізоляційного захисту – по суті, цей шар є оболонкою, яка надає трубі міцність та захист теплоізоляційного шару від надмірної вологості. Усі вищеперелічені шари ізоляції не вбирають краплинну вологу (гідрофобні), але разом з тим є паропроникними - це одна з найважливіших особливостей ППМІ. Така комбінація властивостей теплоізоляції забезпечує збереження початкових властивостей навіть у будь-якому тепловологому середовищі експлуатації при будь-якому способі будівництва теплотрас [17];

- використання ізоляції зі скловолокна. Перевагами даної ізоляції є широкий діапазон температур застосування від -60 до +270°C, низький коефіцієнт теплопровідності, збереження експлуатаційних властивостей протягом усього терміну служби конструкції; стійкість до впливу вологи;

- нанесення на поверхню трубопроводу термоізоляційної фарби. У основі її складу - акрил або латекс, в які додані теплоізолюючі мікросфери із кераміки, скла або різних полімерів. Теплоізоляційні властивості досягаються за рахунок вакууму всередині таких сфер. Зміст таких сфер в акриловій основі теплоізоляційної фарби може сягати 80%. У акрилові сфери доданий силікон та керамічні елементи, після нанесення разом утворюють

структуру, схожу за властивостями на фольгу: керамічний компонент виконує роль відбивача, а силіконовий стає вакуумним прошарком між ними [18];

- застосування альфольової ізоляції, спрямованої на ослаблення променистого теплообміну та виключення конвекції між трубопроводом та навколишнім середовищем за рахунок організації повітряних порожнин, утворених між встановленими на трубопроводі опорними кільцями, та прикріпленими до них декількох екранів з матеріалу, що має високе значення коефіцієнта теплопровідності і малої теплоємності;

- Виготовлення композиційної термостійкої ізоляції трубопроводів. Після нанесення першого кремнепінобетонного шару внутрішньої ізоляції трубу-заготівлю обертають і за допомогою механізму зворотно-поступального руху наносять чотири полімербетонні проміжні шари загальною товщиною 20% товщини першої ізоляції – шкаралупи. На закінчення монтажу наносять на ці верстви зовнішню пінополіуретанову ізоляцію [19];

- використання теплоізолюючого покриття горизонтально розташованого трубопроводу, що має теплову ізоляцію, виконану монолітно із заливного теплоізоляційного матеріалу (пінополіуретану, пінобетону тощо). Збільшення товщини теплоізолюючого покриття до верху труби дозволяє знизити теплові втрати горизонтально розташованого трубопроводу [20];

- нанесення тонкоплівкового покриття на поверхню трубопроводів теплових мереж, що складаються з мінеральної вати як основний шар і склопластику, як покривного, що веде до скорочення втрат теплової енергії;

- застосування відбиваючої теплоізоляції (ОТІ) або фольгованого утеплювача. Фольгований утеплювач – це комбінований матеріал, основа якого складається з універсального теплоізоляційного волокна або підкладки, а зовнішня сторона – із фольги. Фольга є паро- і вологонепроникним матеріалом, тому ці утеплювачі не потребують захисту плівками [21].

Крім застосування теплоізоляційних матеріалів є оригінальні технічні рішення, що дозволяють скорочувати теплові втрати.

Прикладами таких енергозберігаючих технологій можуть бути нижченаведені інженерні рішення.

Контактна конструкція теплопроводів двотрубною тепловою мережі розподільних та магістральних теплових мереж (рисунок 1.4). Технологія полягає у використанні для транспортування теплоносія від джерела теплової енергії до споживача теплопроводом нової конструкції. Контактна конструкція теплопроводу двотрубною тепловою мережі являє собою два трубопроводи оригінального поперечного перерізу, прямий і зворотний, поєднані в один. Переріз кожного каналу контактного теплопроводу являє собою півколо, еквівалентне за площею поперечному перерізу прямого або зворотного стандартного сталевого трубопроводу, причому обидва канали контактного трубопроводу з'єднані їх плоскими стінками.

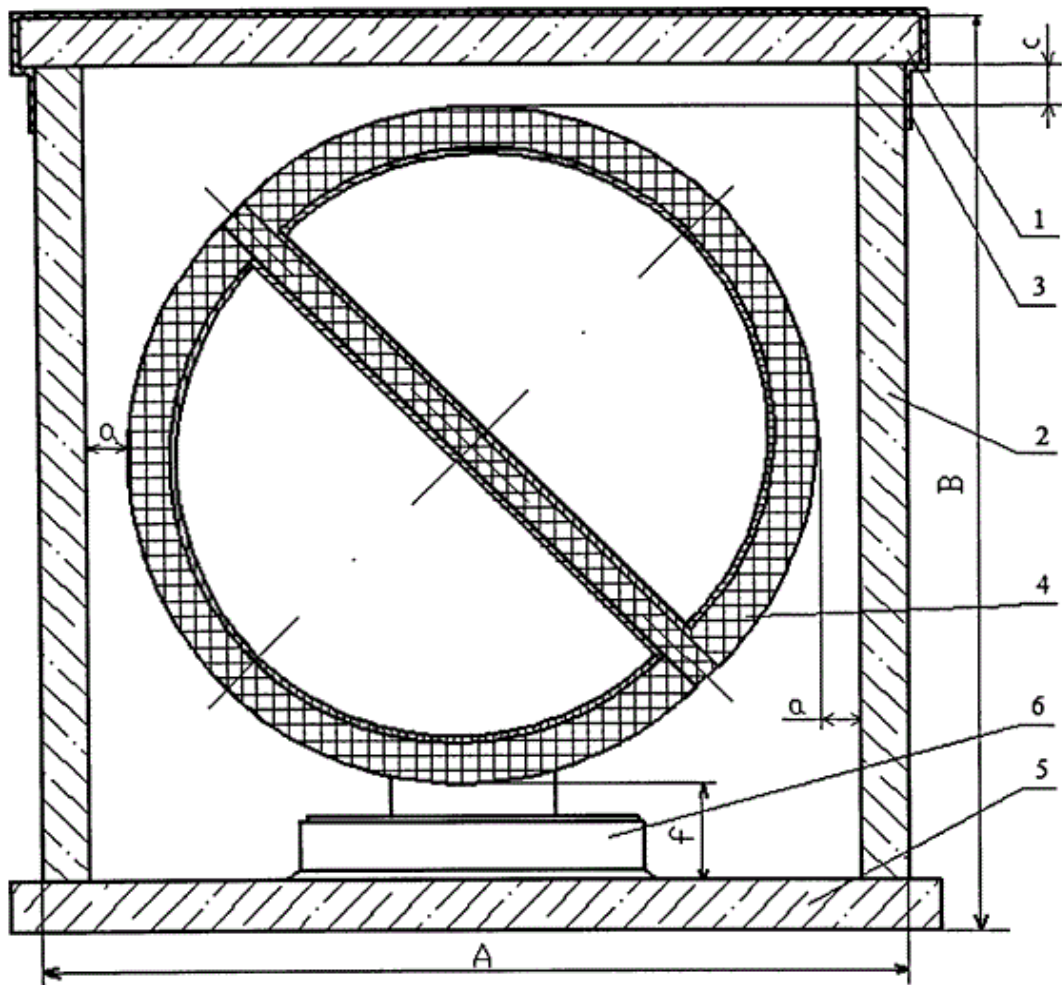


Рис.1.4 Поперечний переріз непрохідного каналу контактної конструкції із похилим розташуванням трубопроводу:

1 – плита перекриття; 2 – стіновий блок; 3 – гідроізоляція; 4 – трубопровід теплової мережі із теплоізоляцією; 5 – плита днища; 6 – ковзна опора трубопроводу.

Для зменшення теплообміну між прямим та зворотним потоками між плоскими стінками прокладається шар теплоізоляційного матеріалу. Зміна геометричної форми прямого та зворотного теплопроводу та з'єднання їх через шар ізоляції плоскими стінками призводить до зменшення габаритних розмірів теплової мережі; скорочення будівельних матеріалів (залізобетону), необхідних для прокладання трубопроводів у непрохідних (прохідних,

напівпрохідних) каналах; економії теплової ізоляції; скорочення теплових втрат у докiлля вiд конструкцiї [22].

Використання iнновацiйної конструкцiї каналiльної тепломережi, (рис. 1.5)

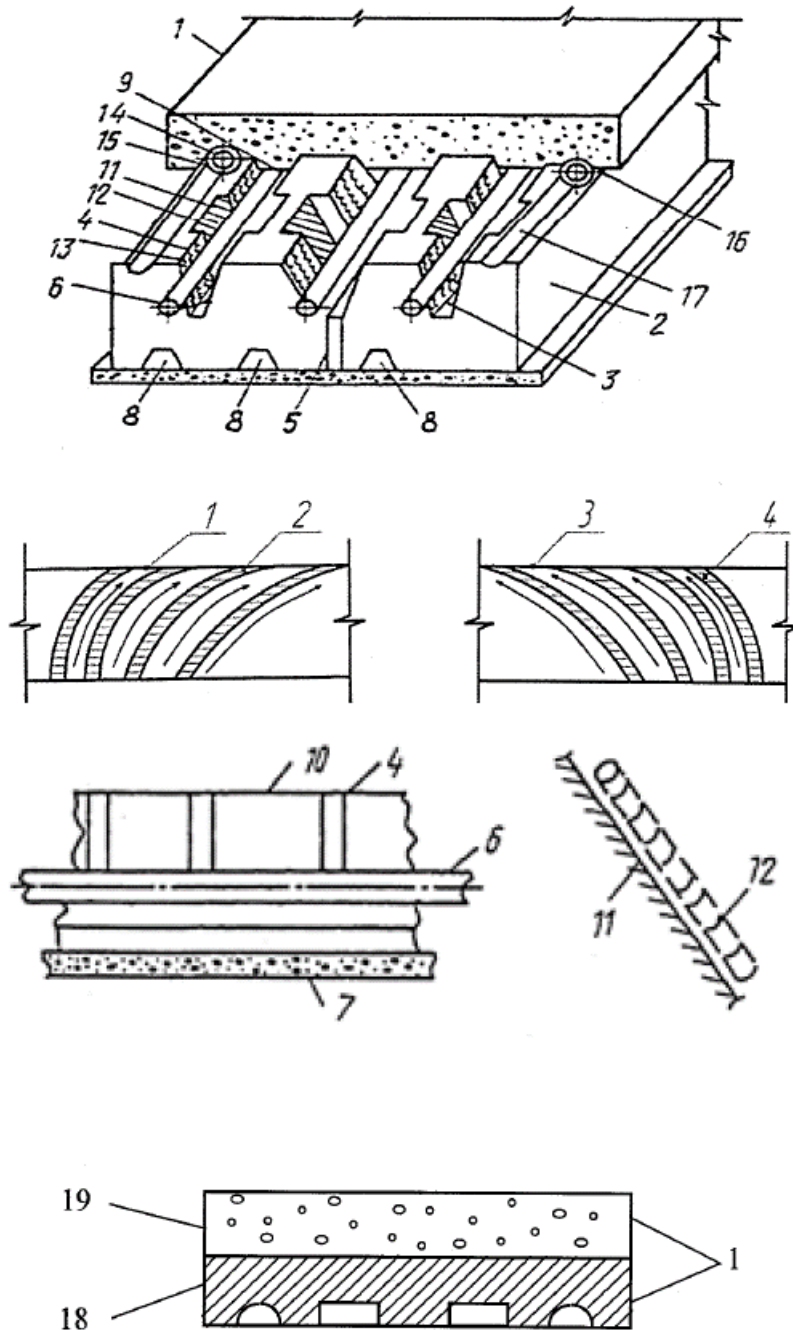


Рис.1.5 Iнновацiйна конструкцiя каналiльної тепломережi:

1, 2 – верхня та нижня плити; 3 – канали; 4 – виступи з гранями у каналах; 5 – отвори цилiндричної форми у днищi нижньої плити; 6 –

трубопроводи; 7 – основа з дренуючого матеріалу; 8 - виїмки трикутної форми в днищі нижньої плити; 9 – виступи на внутрішній поверхні верхньої плити; 10 - жорсткі опори по довжині теплоізоляційного блоку; 11 - виїмки навколо трубопроводу в нижній плиті; 12 - циклоїдні напрямні; 13 - криволінійні гвинтоподібні канавки; 14 - гнучкий трубопровід; 15 – пази для укладання гнучкого трубопроводу; 16, 17 - півсфери, що утворюють пази; 18 – теплоізоляційна складова верхньої плити; 19 – залізобетонна складова верхньої плити.

Представлена теплова мережа включає блок із теплоізоляційних плит із каналами для труб. Трубопроводи встановлені з опиранням на стінки каналів трикутної або трапецеїдальної форми поперечного перерізу з розширеннями, спрямованими вгору каналів. На стінках, в окремих місцях по довжині каналу, виконані виступи з гранями, паралельними стінкам каналу, спирання трубопроводів. У днищі блоку по всій довжині є виїмки, а в верхній частині блоку - виступи, що відповідають формі верхньої частини каналу.

У внутрішній порожнині каналів навколо трубопроводу трикутної або трапецеїдальної форми поперечного перерізу, в межах виїмок, розташовані циклоїдальні напрямні, а в межах виступів - криволінійні гвинтоподібні канавки, шов між верхньою та нижньою плитами герметизований гнучким трубопроводом, укладеним у пазах, утворених двома півсферами, при цьому верхня плита теплоізоляційного блоку виготовлена з біматеріалу.

Матеріал з боку каналів для труб має коефіцієнт теплопровідності. у $10\div 12$ разів нижче, ніж коефіцієнт теплопровідності біматеріалу з боку ґрунту. Внаслідок суттєвої різниці коефіцієнтів теплопровідності виникають різні температурні градієнти в матеріалах 18 і 19 і на поверхні їх з'єднання утворюється додаткова зона термічного опору, що дорівнює термічному опору матеріалу 18, що призводить до зменшення теплових втрат у довкілля [23].

Приклади технічних рішень, пов'язаних з використанням теплової енергії, що втрачається в навколишнє середовище, наведені в роботах [23,24].

Про можливість використання втрат теплової енергії йдеться у роботі Голяка С. А. та Сікеріна І. Е [23]. У цій роботі досліджується можливість використання енергетичного потенціалу прилеглого до теплової мережі ґрунту з метою утилізації теплоти, що неминуче втрачається теплоносієм.

Наступну технологію використання теплових втрат мережі тепlopостачання запропоновано у дисертації Марченко О.В. [25]. Автор пропонує повітря, забруднене на автомагістралях, пропускати через підземний канал теплотраси і потім направляти його в топку котлів. Схема транспорту загазованого повітря автомагістралей у топку котлоагрегатів ТЕЦ через підземні канали теплотраси представлена рисунку 1.6.

Основними перевагами розроблених рішень є термічне знешкодження шкідливих речовин, що містяться в автотранспортних викидах, у топках котлоагрегатів ТЕЦ або виробничих котелень, зниження споживання палива теплоенергетичними установками внаслідок утилізації в топках котлів тепловиділень теплопроводів.

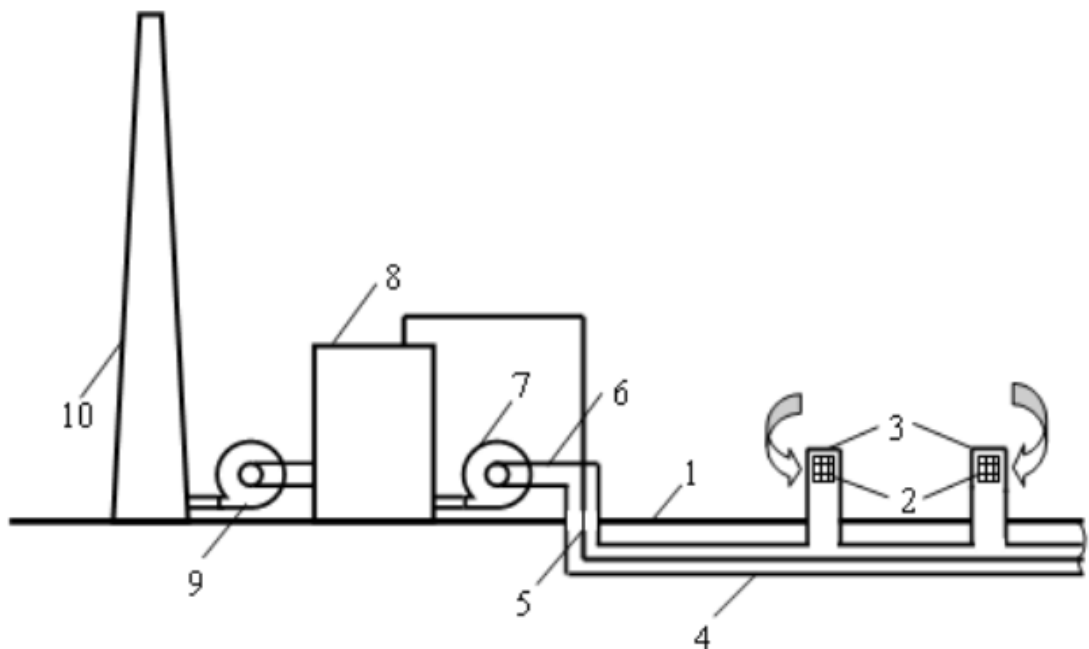


Рис.1.6 Схема транспорту забрудненого міського повітря у топці котлів ТЕЦ через підземні канали теплотраси:

1 – проїжджа частина міських вулиць; 2 – повітрязабірні вікна; 3 – вентиляційні камери; 4 – підземний канал теплотраси; 5 – теплопровід; 6 –

всмоктуючий повітропровід вентилятора; 7 – дутьовий вентилятор; 8 – котлоагрегат; 9 – димосос; 10 – димова труба

З погляду автора цієї дисертації такий спосіб утилізації теплових втрат неминуче викличе їх збільшення внаслідок зниження температури повітря в каналі теплотраси та зміни режиму його руху природною на вимушену конвекцію.

На закінчення слід зазначити, що всі вищеперелічені методи боротьби з тепловими втратами у мережах теплопостачання знижують, але не виключають їх.

Відомі та широко поширені геотермальні теплонасосні системи, призначені для вироблення теплової енергії. Джерелом низькопотенційної енергії для цих пристроїв є природна теплота ґрунту [25, 26, 27]. Принцип роботи такого пристрою полягає у сприйнятті теплової енергії ґрунту за допомогою вертикального чи горизонтального геотермального замкнутого контуру (колектора) з циркулюючим у ньому теплоносієм, який передає сприйнятту енергію випарнику теплового насоса. При цьому для горизонтальних колекторів теплоснімання залежить від багатьох параметрів, таких як якість ґрунту, наявність ґрунтових вод і т.д.

Наприклад, для клімату Німеччини теплоснімання для суглинку та вологих ґрунтів становить 30 – 40 Вт на погонний метр [28]. Однак тривалість роботи геотермальних теплових насосів навіть для кліматичних умов Німеччини обмежена теплим періодом року і дорівнює 2400 годин на рік. Таким чином, у місцях, де можливе природне заповнення теплової енергії ґрунту шляхом, наприклад, впливу на нього сонячної радіації або за рахунок енергії надр землі, застосування цих систем досить актуально в теплий період року.

Аналогічна геотермальна теплонасосна система лягла в основу ідеї пристрої з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси, для роботи якої низькопотенційним джерелом є теплові втрати мережі теплопостачання [28,

29, 30, 31]. Тобто теплові втрати є внутрішнім джерелом теплової енергії ґрунту.

Пристрій з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси, запропоновано як енергозберігаюче рішення в системах централізованого теплопостачання промислових підприємств, в умовах, коли джерело та мережі знаходяться у власності самого підприємства, що створює найбільше сприятливі умови реалізації енергозберігаючих заходів.

Основною метою роботи пристрою є утилізація неминучих теплових втрат у мережах теплопостачання. При цьому вироблена тепла енергія може бути використана для потреб гарячого водопостачання або опалення поряд розташованих будівель та споруд протягом усього року.

Пристрій з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси з тепловідбиваючим екраном, колектора та сполученого з ним трансформатора тепла (парокомпресійного теплового насоса). Принципова схема та зовнішній вигляд пристрою показані на рисунку 1.7.

Іншим можливим результатом роботи пристрою може стати охолодження навколишнього мережу ґрунту і навіть його промерзання, що неприпустимо. Тому питання коректного відбору та пошук прийняттого діапазону регулювання роботи пристрої є вкрай важливим для розглянутого технічного рішення.

У контексті сказаного наступним вирішеним завданням стало визначення максимально допустимого теплосприйняття колектора, значення якого безпосередньо впливає на геометричні характеристики колектора і, отже, на капітальні витрати на встановлення пристрою з утилізації теплових втрат загалом.

При цьому під теплосприйняттям колектора розуміється енергія, яка сприймається колектором в одиницю часу на одиницю довжини теплотраси.

Колектор, розташований у каналі теплотраси вздовж трубопроводів теплової мережі, являє собою систему трубопроводів, через яку здійснюється циркуляція теплоносія через випарник теплового насосу.

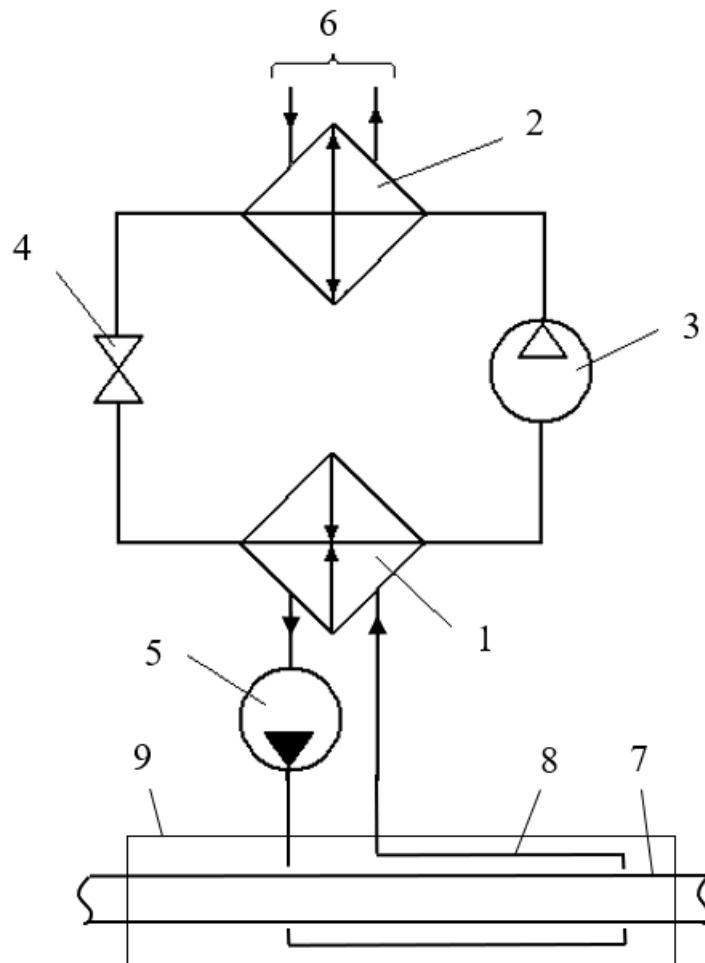


Рис.1.7 Принципова схема пристрою по утилізації теплових втрат у каналі теплотраси:

1 – випарник; 2 – конденсатор; 3 – компресор; 4 – дросельний пристрій; 5 – циркуляційний насос; 6 – споживач теплової енергії; 7 – ізолюваний трубопровід теплової мережі; 8 – колектор пристрою з утилізації теплових втрат; 9 – канал теплотраси; 10 – екран, що відбиває.

Даний елемент пристрою призначений для сприйняття лінійних теплових втрат від трубопроводів теплової мережі системи тепlopостачання та передачі отриманої енергії у випарник теплового насоса, який у свою чергу, дозволяє підвищити потенціал сприйнятої теплової енергії до необхідних параметрів. (Рис.1.8)

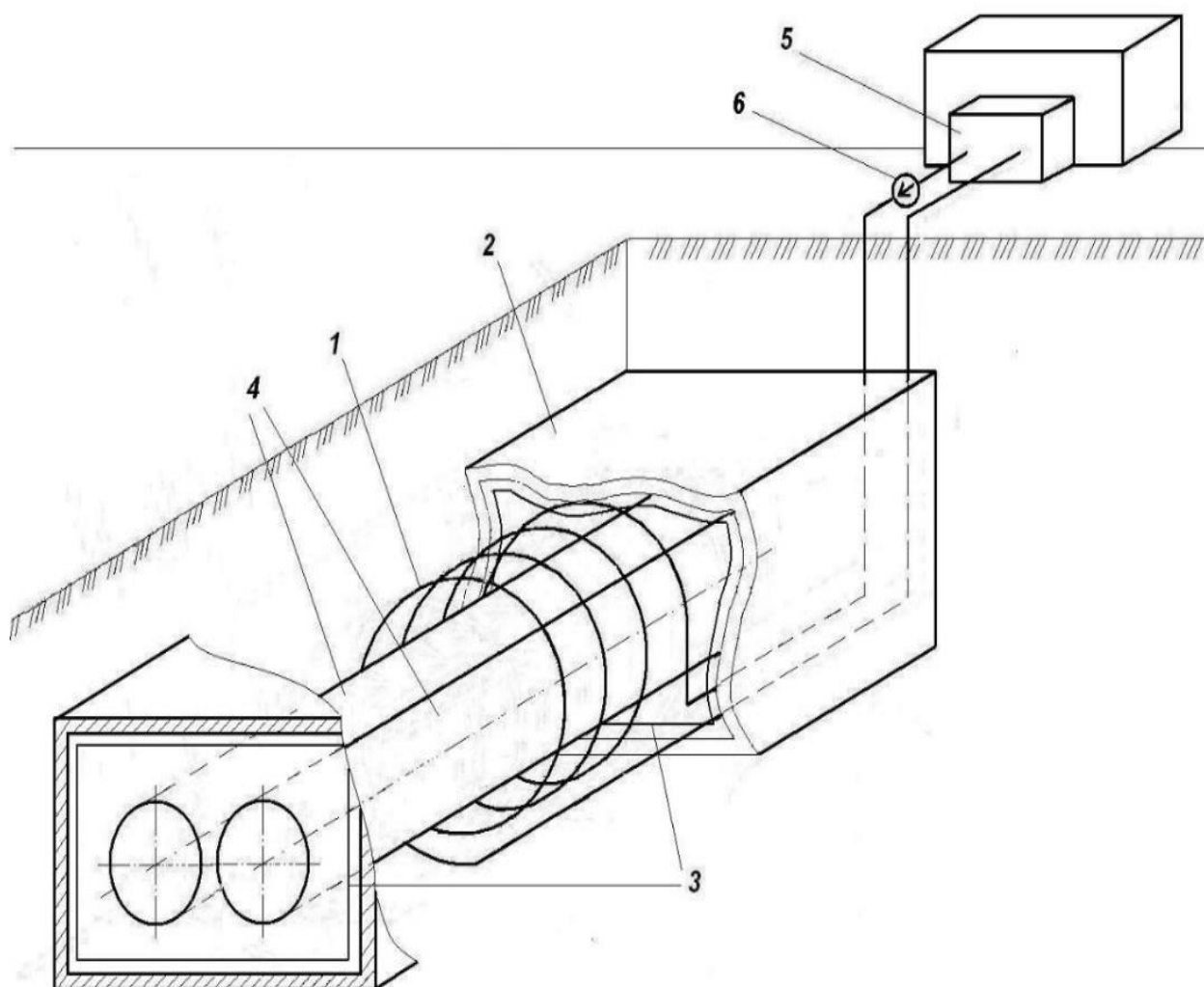


Рис.1.8 – Загальний вигляд пристрою по утилізації теплових втрат у каналі теплотраси:

1 – колектор; 2 – канал теплотраси; 3 - екран, що відбиває; 4 - трубопроводи теплової мережі; 5 – випарник теплового насосу; 6 – циркуляційний насос.

Необхідною умовою відбору енергії від мережі тепlopостачання є підтримання стабільного теплового режиму роботи мережі, тобто недопущення збільшення теплових втрат внаслідок роботи пристрою.

1.3 Висновки до розділу 1

1. Виділяємо три підходи до підвищення ефективності роботи теплових мереж: використання сучасних та перспективних теплоізоляційних матеріалів; застосування оригінальних технічних рішень, спрямованих на зміну конструкції елементів теплової мережі; застосування оригінальних технічних рішень, пов'язаних з використанням теплової енергії, що втрачається в навколишнє середовище.

2. У структурі теплових мереж різних діаметрів основну частку протяжності займають мережі діаметром до 200 мм. Мережі такого діаметра трубопроводів мають найбільші втрати, оскільки на малих діаметрах частка втрат вище, ніж великих. Крім того, вагомими причинами збільшення втрат, зазначених, є старіння теплових мереж, низькі темпи їхнього оновлення, недостатнє застосування сучасних енергоефективних технологій.

3. Розглянуті в розділі методи боротьби з тепловими втратами у мережах теплопостачання знижують, але не виключають їх.

4. Геотермальна теплонаносна система лягла в основу ідеї пристрою з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси, для роботи якої низькопотенційним джерелом є теплові втрати мережі теплопостачання. Тобто теплові втрати є внутрішнім джерелом теплової енергії ґрунту.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНОВАЦІЙНИХ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ

ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

2.1 Когенераційні технології та системи як напрям розвитку енергетики

Комбіноване виробництво енергії (когенерація) є одним із найбільш сучасних і ефективних методів отримання електричної та теплової енергії, який широко використовується та активно розвивається в провідних країнах світу. Це перспективний напрямок розвитку енергетичного сектора. За прогнозами Європейського енергетичного союзу, у 2017 році частка децентралізованого комбінованого виробництва енергії (КВЕ) в Європі, заснованого на газотурбінних установках (ГТУ), становила 21 % від загального обсягу виробництва, а в розвинених країнах – 35–55 %. Високий результат цього напрямку теплоенергетики пояснюється більш ефективним використанням теплової енергії палива (КВП), що сягає 85–92 %, завдяки оптимальному використанню скидного тепла після енергетичних установок та електричного ККД = 30–32 %. Впровадження когенерації призводить до зниження витрати газу на виробництво тепла та електроенергії, а також зменшити собівартість їх виробництва, що є ключовим завданням енергозбереження. Водночас важливо відзначити, що теплоенергетика часто при виділенні недостатньо уваги, попри її значущість. У когенераційних установках (або міні-ТЕЦ) з традиційними котельнями споживання палива дещо зростає, однак загальні витрати на виробництво однакового обсягу електричної та теплової енергії є нижчою на 15–30 % у порівнянні з окремим виробництвом на ТЕЦ та в котельні (залежно від потужності) та типу обладнання). Також децентралізовані когенераційні технології підвищують ефективність за рахунок зменшення витрат електроенергії під час передачі, усі споживачі знаходяться ближче до джерела виробництва.

Використання когенераційних технологій значно підвищує

ефективність у спільному виробництві тепла та електроенергії. Варто зазначити, що економічна вигода проявляється переважно на рівні всього національного господарства та пов'язана з певним перерозподілом виробництва електроенергії з енергетичної галузі до сфери промислової теплоенергетики. Власники когенераційної установки отримують кілька переваг, зокрема доступ до дешевшої електроенергії для власних потреб і можливість її продажу у зовнішню мережу або стороньому споживачеві. Крім того, знижується собівартість виробництва тепла завдяки скороченню паливних витрат, зокрема зменшенню використання газу для котла.

Впровадження систем когенерації приносить вигоди у чотирьох взаємопов'язаних сферах: економічній, надійності, утилізації тепла та екології. При роботі традиційних паротурбінних електростанцій, через технологічні особливості процесу енергогенерації, значна кількість тепла виводиться в атмосферу. Значну частину цього тепла можна утилізувати та використовувати для задоволення потреб у теплі, що дозволяє підвищити ефективність електростанцій у системах когенерації з 30–50 % до 80–90 %. На рисунку зображено порівняльну схему роздільного та спільного виробництва теплової й електричної енергії на котельнях, електростанціях і міні-ТЕЦ.

Когенерація значно підвищує ефективність систем тепlopостачання на промислових підприємствах за рахунок утилізації вторинних теплових енергоресурсів. У процесі когенерації одночасно виробляються електроенергія і тепло, що дозволяє знизити обсяг втраченого тепла, який традиційно викидається в атмосферу на звичайних електростанціях. Замість цього тепло, яке зазвичай є побічним продуктом виробництва електроенергії, використовується повторно для задоволення потреб у тепловій енергії на підприємстві. Це дозволяє зменшити витрати на первинні енергоресурси, такі як газ чи вугілля, і підвищити загальний ККД енергосистеми до 80–90%.

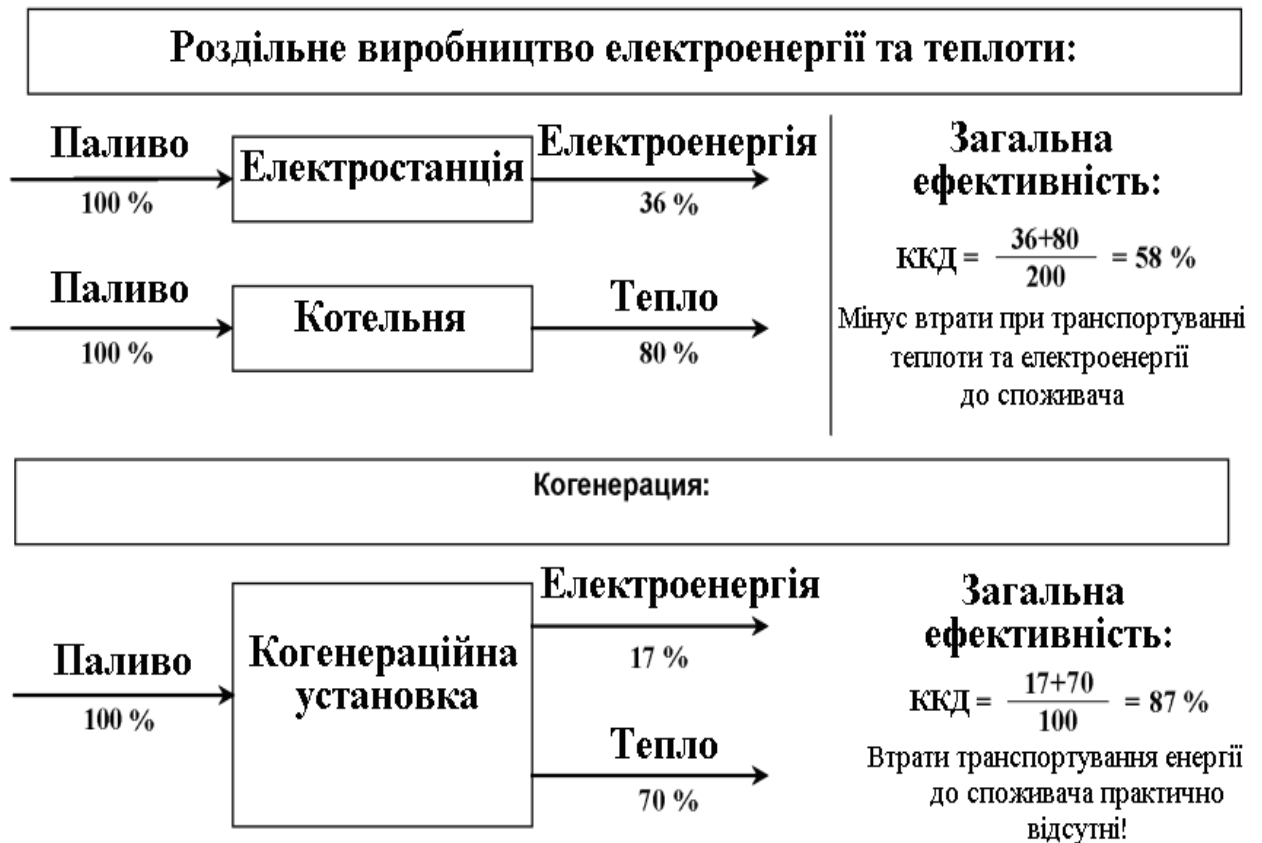


Рис.2.1 . Порівняння когенерації та роздільного виробництва електроенергії та теплоти.

Крім того, когенераційні установки сприяють покращенню стабільності тепlopостачання, знижуючи залежність підприємства від зовнішніх постачальників енергії. Такі системи можуть використовуватися для забезпечення процесів, що потребують високих температур, з меншими витратами енергії та ресурсів.

2.2 Технічні рішення теплових схем при когенерації на котельнях з використанням ORC контуру.

Щоб підвищити надійність тепlopостачання і, за певних умов, покращити техніко-економічні показники великих котельень, останнім часом проводяться дослідження схем теплогенеруючих установок, спрямовані на

виробництво власної електроенергії. Відмінною рисою теплогенеруючих об'єктів є нерівномірність навантаження протягом року, тому для газових котелень зазвичай використовують газопоршневі або дизельні двигуни внутрішнього згорання. Прагнення зменшити використання природного газу стимулює пошук альтернатив, серед яких - впровадження замкнених паротурбінних циклів, що базуються на органічному циклі Ренкіна. [19, 26].

За останнє десятиліття активно розвивається напрямок ефективного використання низькопотенційного тепла для виробництва електроенергії на основі турбінних установок з низькокиплячими робочими речовинами (НРТ). У таких установках застосовується цикл ORC, який дозволяє утилізувати вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) технологічних процесів на промислових підприємствах. Цей підхід також може бути використаний для водогрійних котелень, де температура ВЕР від спалювання палива не перевищує 180 °С (наприклад, нагріта вода для тепломережі або димові газу).

На водогрійних котельнях є кілька джерел тепла, придатних для впровадження ORC циклів. Різні автори пропонують низку технічних рішень, зокрема:

1. Використання частини гарячої води з водогрійного котла для нагріву ORC контуру, який виробляє електроенергію для повного або часткового забезпечення потреб котельні. Позитивним моментом інтегрування з водогрійними котлами є саме те, що контур в якому циркулює низькокиляче робоче тіло вбудовується в існуючу теплову схему без сутєвих змін. У цьому випадку ORC контур обладнано повітряним конденсатором, що призводить до втрати частини тепла в процесі конденсації, знижуючи ККД. (рис.2.2) Як робоча речовина пропонується, наприклад, бутан (R600). [21].

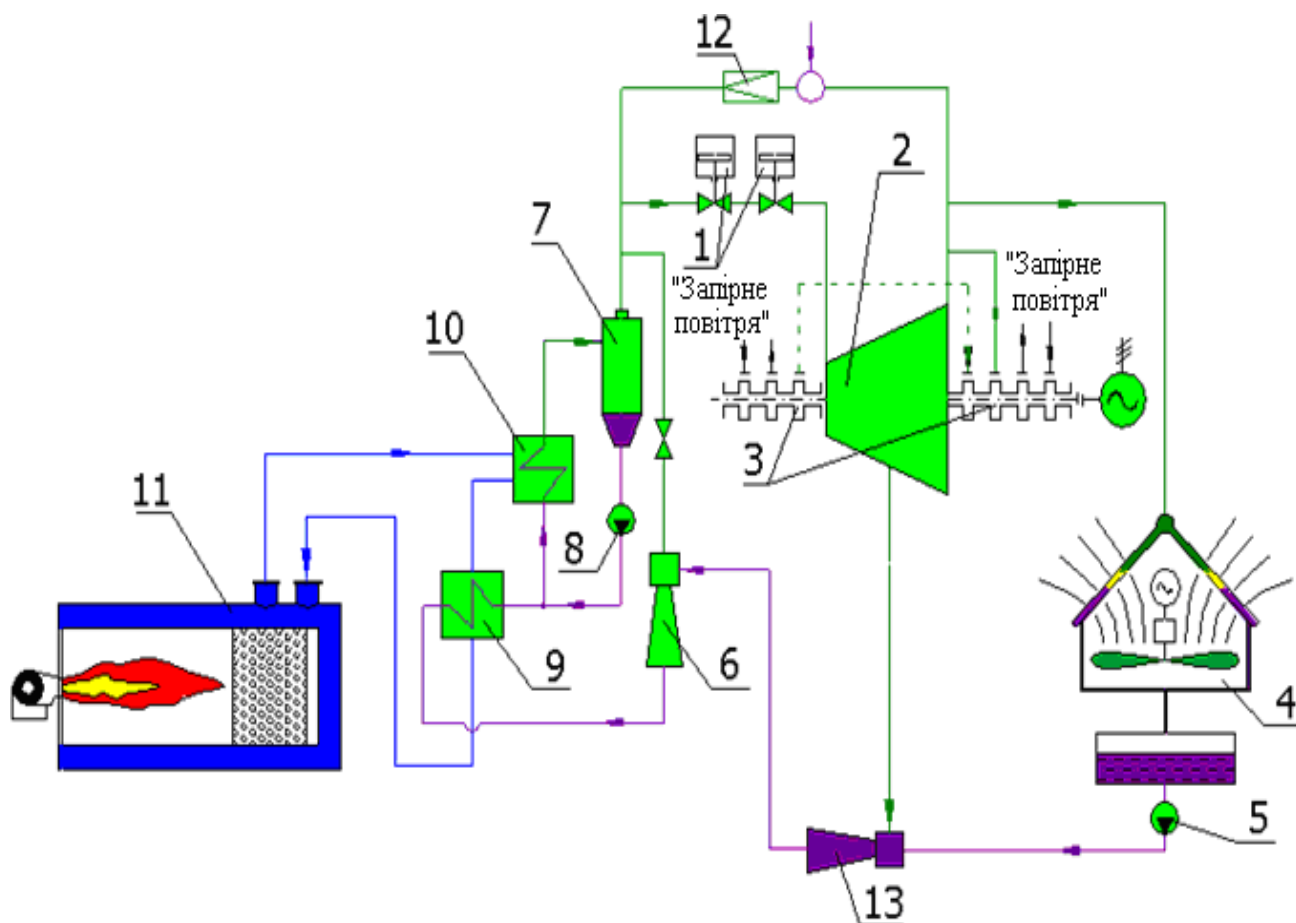


Рис.2.2 Схема міні-ТЕЦ з водогрійним котлом і бутановим контуром:

1 – стопорний і регулюючі клапани з пневмоприводом; 2 – бутанова турбіна; 3 – «сухі» бутанові ущільнення; 4 – повітряний конденсатор; 5 – конденсатний насос; 6 – інжектор; 7 – сепаратор; 8 – сепаратний насос; 9 – підігрівач бутану; 10 – випарник бутану з економайзером; 11 – водогрійний котел КВТС-10; 12 – швидкодіюча редукційно-охолоджувальна установка (ШРОУ); 13 – підігрівач бутану змішувачий, струминного типу

2. Іншим можливим технічним підходом є використання частини гарячої води з водогрійного котла для обігріву ORC контуру, що дозволяє одночасно виробляти електроенергію та гарячу воду для системи гарячого водопостачання (ГВП) без використання повітряного конденсатора. Це рішення підходить для ситуацій, коли котельня безпосередньо забезпечує

потреби в гарячій воді (рис. 2.3). В якості робочого середовища для циклу пропонується використання R600. Якщо з теплової схеми виключити водогрійний котел (межі відповідної ділянки показано осьовою лінією на схемі), таку систему можна використовувати для генерації електроенергії на тепловому пункті.

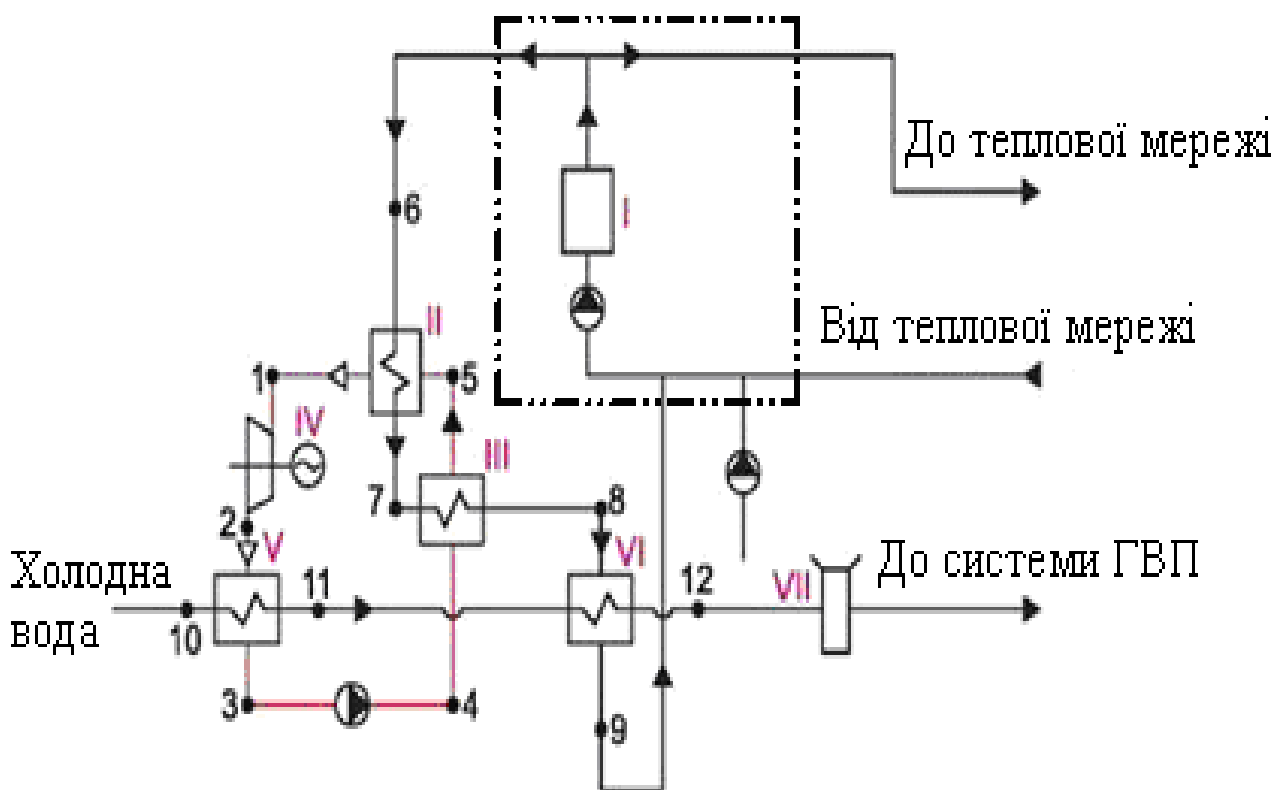


Рис.2.3 Принципова тепла схема водогрійної котельні з інтегрованою установкою з виробництва електроенергії:

- I – водогрійний котел;
- II – випарник;
- III – підігрівач;
- IV – тепловий двигун;
- V – теплообмінник-конденсатор;
- VI – додатковий підігрівач;
- VII – бак-акумулятор

Наведена на рис.2.3 схема характеризується зменшеними втратами, тобто високим коефіцієнтом використання палива.

3. Використання енергії димових газів від теплоенергоцентралі або водогрійної котельні, паливо в яких є природній газ, для обігріву ORC контуру, в якому виробляється електрична енергія (рис. 2.4) [22].

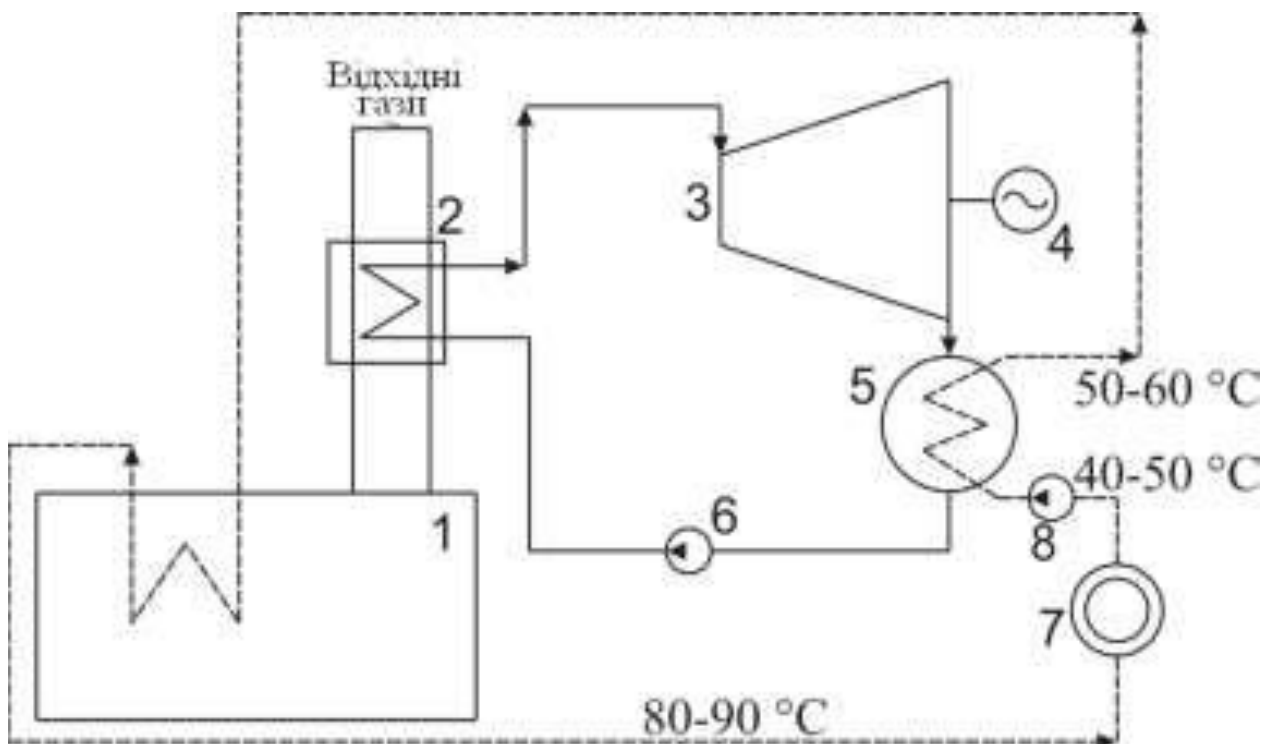


Рис.2.4 Принципова теплова схема когенераційної установки з водогрійним котлом та ORC контуром: 1 – водогрійний котел; 2 – теплообмінник-випарник НРТ; 3 – турбіна на НРТ; 4 – електрогенератор; 5 – теплообмінник-конденсатор; 6 – конденсаційний насос; 7 – споживач теплоти; 8 – насос мережної води

Очевидно, що з розглянутих схем варіант 3 технічного рішення є найбільш перспективним для подальшого впровадження, оскільки для когенерації не знадобиться спалювати додаткову кількість палива.

2.3 Висновки за розділом 2

1. Впровадження когенерації призводить до зниження витрати газу на виробництво тепла та електроенергії, а також зменшити собівартість їх виробництва, що є ключовим завданням енергозбереження.

2. У когенераційних установках (або міні-ТЕЦ) з традиційними котельнями споживання палива дещо зростає, однак загальні витрати на виробництво однакового обсягу електричної та теплової енергії є нижчою на 15–30 % у порівнянні з окремим виробництвом на ТЕЦ та в котельні (залежно від потужності) та типу обладнання). Також децентралізовані когенераційні технології підвищують ефективність за рахунок зменшення витрат електроенергії під час передачі, усі споживачі знаходяться ближче до джерела виробництва.

3. Впровадження систем когенерації приносить вигоди у чотирьох взаємопов'язаних сферах: економічній, надійності, утилізації тепла та екології.

4. Очевидно, що використання енергії димових газів від теплоенергоцентралі або водогрійної котельні, паливо в яких є природній газ, для обігріву ORC контуру, в якому виробляється електрична енергія є найбільш перспективним для подальшого впровадження, оскільки для когенерації не знадобиться спалювати додаткову кількість палива.

РОЗДІЛ 3

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ СПІЛЬНОЇ РОБОТИ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ І ПРИСТРОЇ ПО УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ В КАНАЛІ ТЕПЛОТРАСИ

3.1 Чисельне моделювання процесів теплообміну в тепловій мережі.

З метою визначення максимально можливого тепловосприйняття колектора пристрою для утилізації теплових втрат у каналі теплотраси необхідно здійснено вибір місця розташування та конфігурації тепловідбивного екрану та оцінити вплив роботи пристрою з утилізації теплових втрат на тепловий режим роботи однотрубною та двотрубною тепловою мережі з каналною підземною прокладкою у непрохідних каналах. Для досягнення поставленої мети у цьому розділі здійснено чисельне моделювання процесів теплообміну у тепловій мережі. [19].

Об'єктами подальшого дослідження є однотрубна та двотрубна тепла мережа з підземною каналною прокладкою трубопроводу в непрохідному каналі.

Оскільки в цій роботі трубопровід теплової мережі розглядається тільки як джерело теплової енергії, то у випадку двотрубною тепловою мережі взаємним впливом прямого і зворотного трубопроводу, зважаючи на його незначущість для цього дослідження, допустимо знехтувати. Таким чином, розроблені математичні моделі можна екстраполювати на двотрубну теплову мережу. [23].

Чисельне моделювання зроблено для температурних графіків роботи системи тепlopостачання 150/70 та 95/70. Розрахунки велися для температур теплоносія, що відповідають розрахунковій температурі повітря. При цьому

температура навколишнього ґрунту у всіх варіантах чисельного аналізу приймалася рівною середній температурі ґрунту за опалювальний період для умов м. Кривий Ріг.

Основні теплофізичні характеристики матеріалів теплової мережі визначено за [17, 20] і наведено у таблиці 3.1.

Для аналізу впливу відбору енергії колектором пристрою на тепловий режим роботи мережі тепlopостачання було здійснено низку чисельних розрахунків за наявності тепловідбиваючого екрану та колектора. При цьому теплосприйняття колектора визначалося зміною температури теплоносія, що циркулює в ньому.

Таблиця 3.1 Теплофізичні характеристики елементів теплової мережі

Найменування Дж/(кг·К)	Матеріал	Щільність, кг/м ³	Теплопровідність Вт/(м·К)	Теплоємність,	Ступінь чорноти
Трубопровід, колектор	Сталь	7800	44,5	450	0,96
Тепловідбивний екран	Алюміній	2670	204	920	0,15
Теплова ізоляція	Пінополіуретан (З поліетиленовий оболонкою)	70	0,035	1470	0,8
Канал	Залізобетон	2300	1,8	880	0,9

Моделювання процесу перенесення теплоти в системі, що розглядається, засноване на вирішенні системи диференціальних рівнянь нерозривності, руху та енергії [21 - 24].

Рівняння нерозривності, що є законом збереження маси у гідродинаміці, у векторній формі має вигляд

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla \cdot \rho) = 0$$

де ρ – щільність рідини, кг/м³;

t - час, с;

u - вектор швидкості руху рідини, м / с

Дослідження процесів теплообміну в однотрубній та двотрубній тепловій мережі проведено при геометричних характеристиках, що відображені на схемах розрахункових областей однотрубної (рис. 3.1) і двотрубної (рис.3.2) теплових мереж без додаткових елементів, теплової мережі з тепловідбивним екраном та колектором з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси. [25].

Варто зазначити, що область дослідження в завданнях теплообміну в ґрунті не може бути нескінченною, тому для даного типу завдань межі дослідницької області, на яких задаються граничні умови, знаходяться на значній віддалення від теплової мережі.

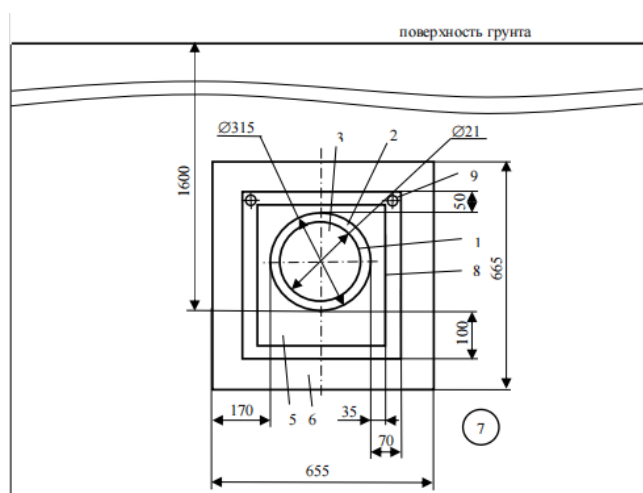
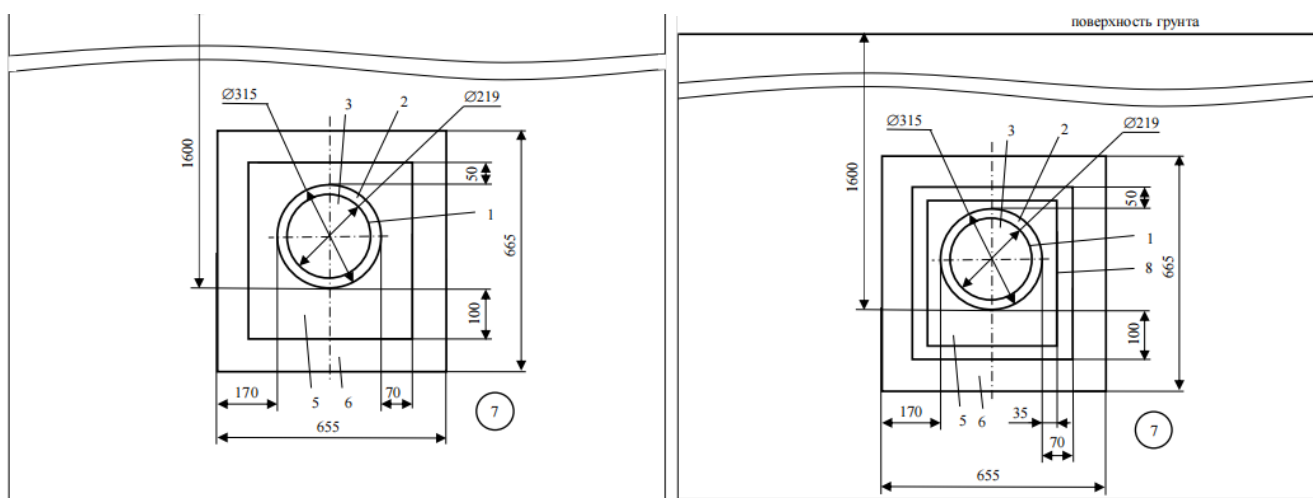


Рис.3.1 Схема області дослідження однотрубною тепловою мережі

а) без додаткових елементів; б) з тепловідбивним екраном;

1 – сталевий трубопровід; 2 – тепла ізоляція трубопроводів; 3 – теплоносій трубопроводу, що подає; 4 – теплоносій зворотного трубопроводу; 5 – повітря каналу теплотраси; 6 – залізобетонний канал; 7- ґрунт; 8 – тепловідбивний екран;

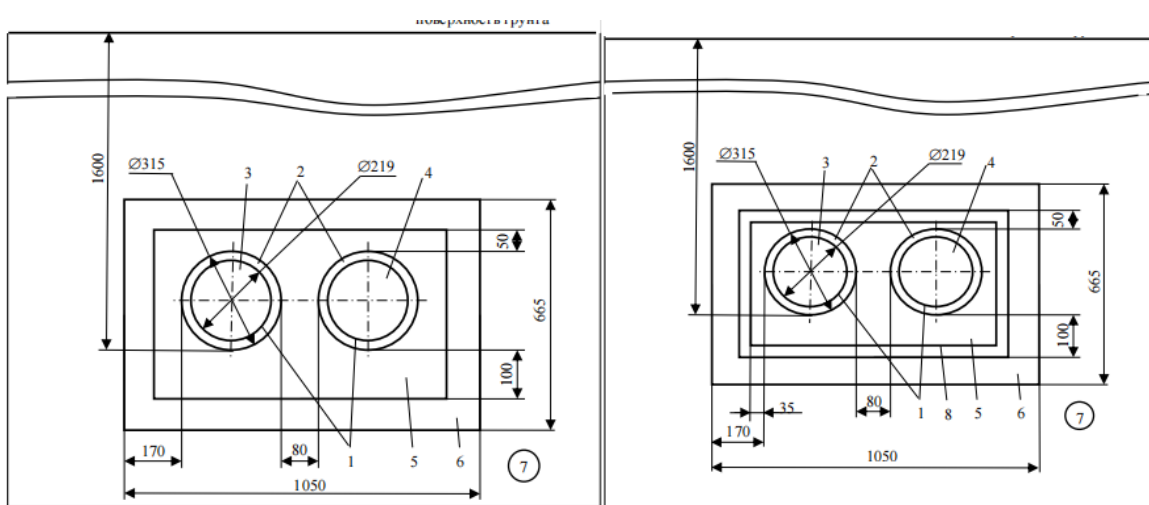
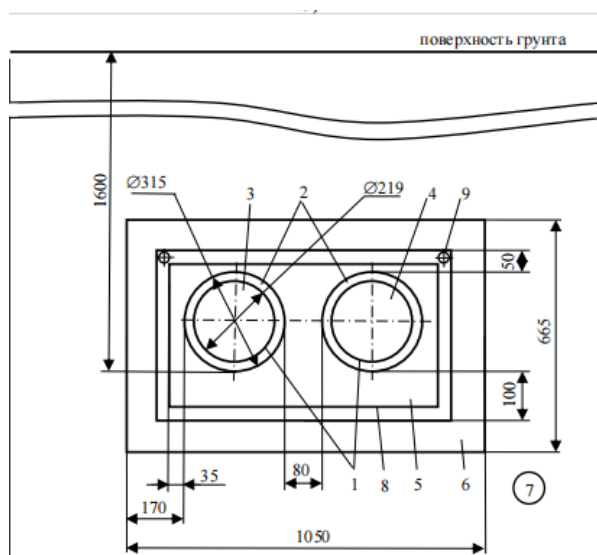


Рис.3.2

розрахункової
двотрубною тепловою

а) без
елементів; б) з
екраном; в) з
екраном та

Схема
області

мережі:
додаткових
тепловідбивним
тепловідбивним
колектором:

1 – сталевий трубопровід; 2 – тепла ізоляція трубопроводів; 3 – теплоносій подає трубопроводу; 4 – теплоносій зворотного трубопроводу; 5 –

повітря каналу теплотраси; 6 – залізобетонний канал; 7 – ґрунт; 8 - екран, що відбиває; 9 – колектор

Рівняння руху, яке є законом збереження кількості руху, у векторній формі має вигляд

$$\rho \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + \tau] + F,$$

Де ρ – щільність рідини, кг/м³;

u - вектор швидкості руху рідини, м / с;

P - Тиск рідини, Па;

F – вектор об'ємної сили, Н/м³;

I – одиничний тензор;

t - час, с;

τ - тензор в'язких напруг, Па. Визначається за рівнянням

$$\tau = 2\mu S - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot u)I,$$

де μ - динамічна в'язкість, Па•с;

S - тензор швидкостей деформації, 1/с. Визначається за рівнянням

$$S = \frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T).$$

Температури середовищ у системах, що розглядаються, показані в таблиці 3/2 задані в відповідно до умов функціонування теплової мережі при роботі з температурним графікам 150/70 та 95/70 при розрахунковій температурі зовнішнього повітря та температурі зовнішнього повітря початку та кінця опалювального періоду. Температура ґрунту прийнята рівною середньою за опалювальний період температурі ґрунту в м. кривий Ріг на глибині 1,6 м [27].

Таблиця 3.2 – Температури теплоносія на внутрішніх кордонах геометричної моделі

Температурний графік роботи	Температура зовнішнього повітря	Температура у подаючій лінії теплової мережі, К	Температура у зворотній лінії теплової мережі, К	Температура навколишнього ґрунту, К
150/70	Початок та кінець опалювального періоду	329	310	276,5
	розрахункова	423	343	276,5
95/70	Початок та кінець опалювального періоду	316	310	276,5
	Розрахункова	368	343	276,5

В результаті були отримані залежності питомих лінійних втрат теплової енергії в одно- та двотрубній тепловій мережі без додаткових елементів, теплової мережі з екраном, що відображає тепло, і теплової мережі при її спільній роботі з пристроєм з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси. Рисунок 3.3 дозволяють оцінити зміну поля температур і швидкостей в описаних раніше варіантах виконання мережі теплопостачання на прикладі двотрубною тепловою мережі, що працює за температурним графіком 150/70 при розрахунковій температурі зовнішнього повітря.

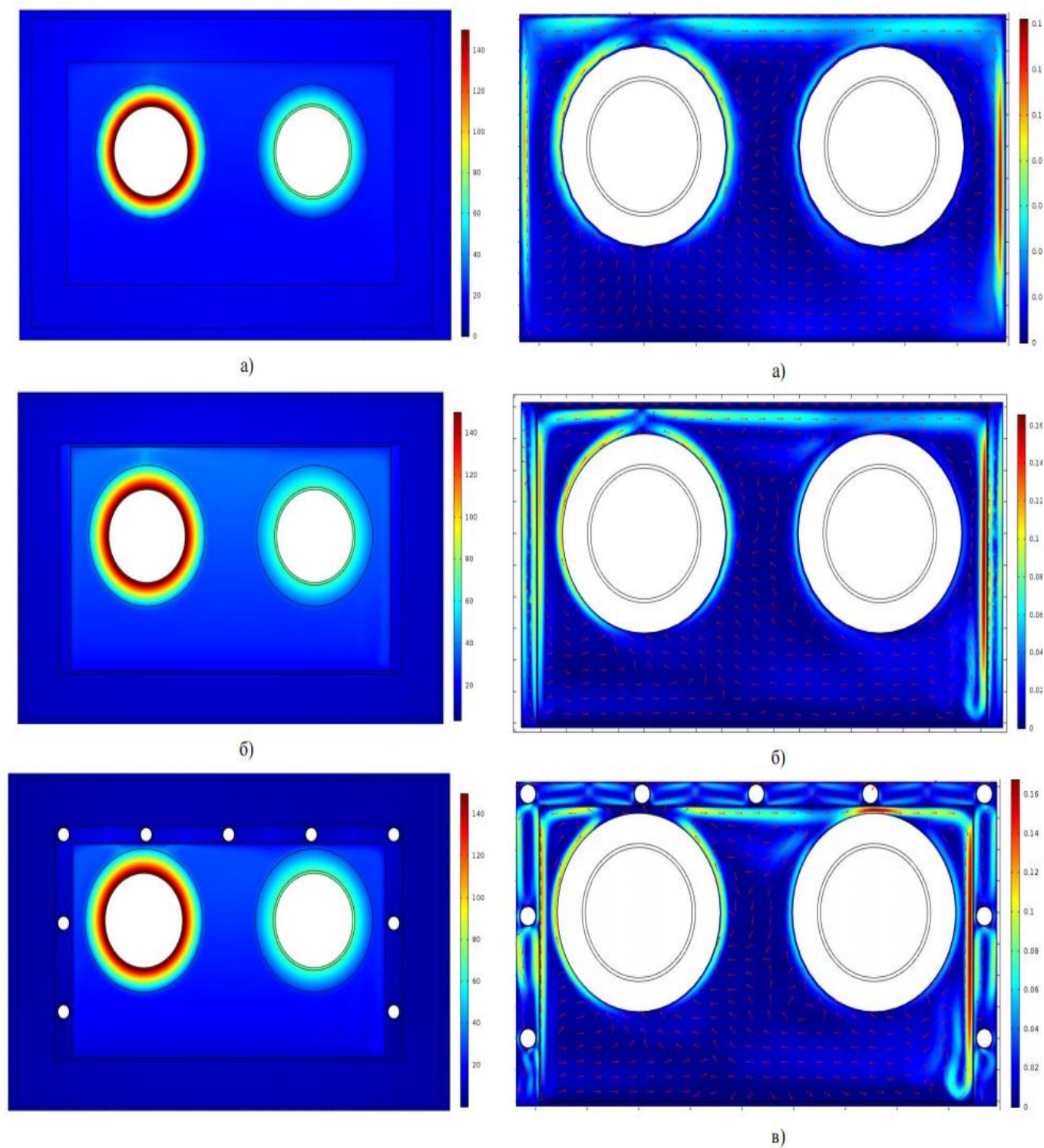


Рис.3.3 Поле температур та швидкостей у двотрубній тепловій мережі
 а) без додаткових елементів; б) з тепловідбивним екраном;
 в) з тепловідбивним екраном та колектором

3.2 Оцінка впливу роботи пристрою з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси на тепловий режим роботи теплової мережі

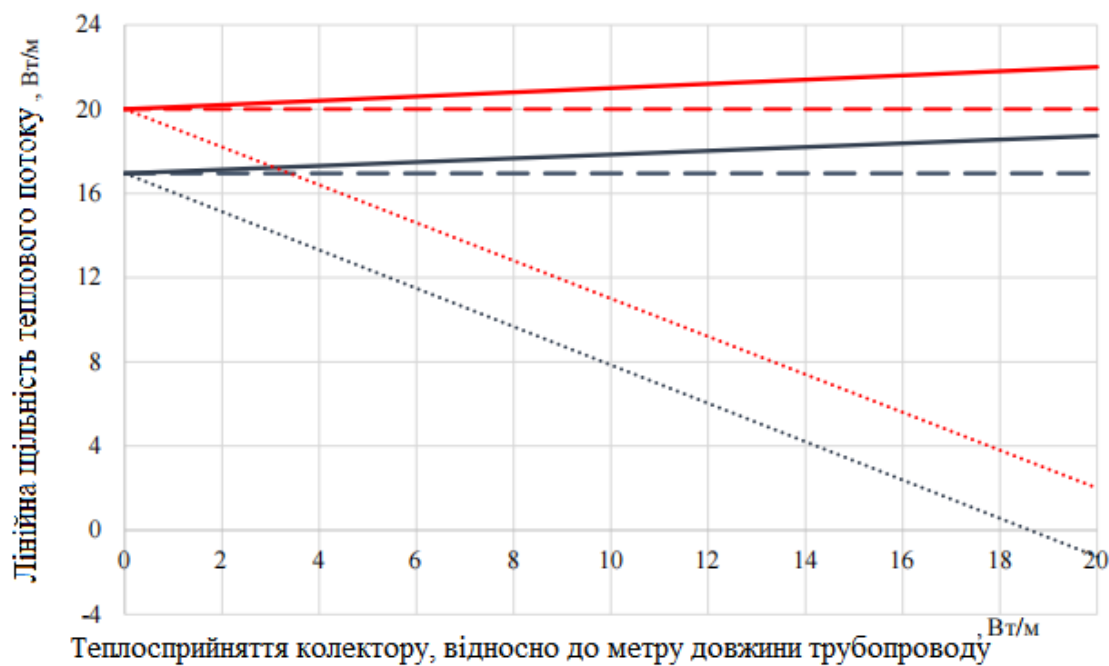
Важливо відзначити, що теплосприйняття колектора з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси розглядається у роботі як кількість зібраної ним теплової енергії з одного метра довжини трубопроводів теплової мережі за одиницю часу. При цьому довжина колектора є величиною шуканої, на знаходження якої спрямована запропонована у роботі інженерна методика.

Були побудовані залежності, показані на рисунках 3.4-3.7, що відображають вплив теплосприйняття колектора на величини лінійної щільності теплового потоку з поверхні трубопроводів і лінійних втрат з поверхні каналу в ґрунт двох систем: без тепловідбивного екрану (червоні лінії) та з тепловідбивним екраном (сині лінії) для одно- та двотрубних теплових мереж.

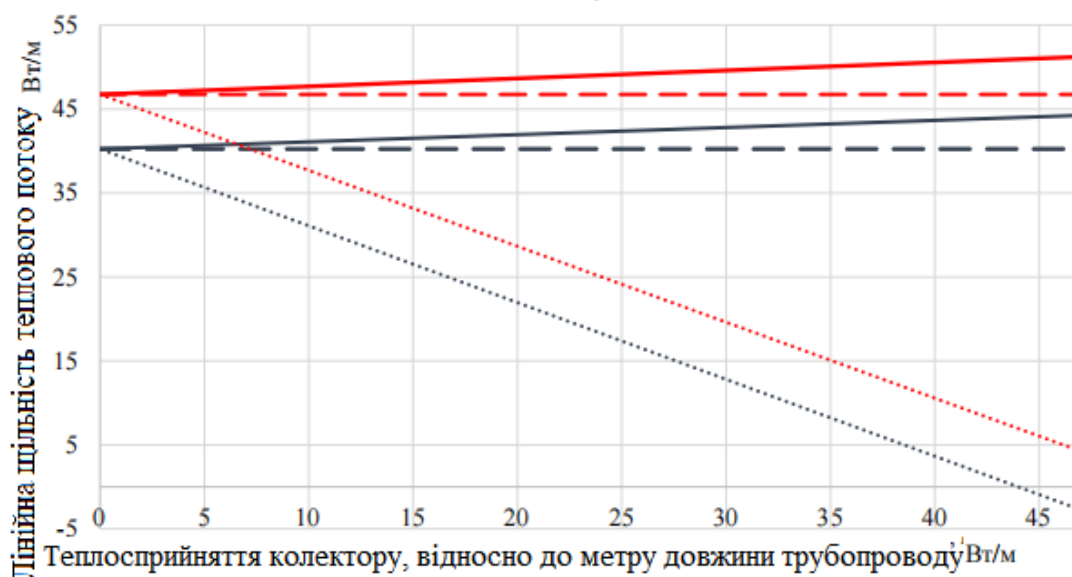
Залежності показують, що відбір теплової енергії колектором із каналу теплотраси у розмірі початкових теплових втрат для всіх варіантів теплової мережі та умов її роботи викликає збільшення лінійної щільності теплового потоку з поверхні трубопроводів в середньому на 10-14%. Це свідчить про неприпустимість організації відбору теплової енергії від мережі теплопостачання подібним чином.

Для обмеження відбору теплоти у пристрої передбачений екран, що відображає тепло, здатний скоротити радіаційну складову теплового потоку з поверхні трубопроводів.

Аналіз роботи тепловідбивного екрану в умовах теплової мережі без колектора показав, що при встановленні тепловідбивного екрану у внутрішньої поверхні каналу теплотраси у всіх варіантах розрахунку коефіцієнт його ефективності варіюється в діапазоні від 0,14 до 0,19.



а)



- Без екрану та колектору
- - - З квадратним екраном
- Сумарний потік з поверхні ізоляції в системі з екраном
- Лінійні втрати з каналом в системі з екраном
- Сумарний тепловий потік в системі без екрану
- Лінійні теплові втрати в системі

Рис.3.4 Вплив теплосприйняття колектора на тепловий потік з поверхні ізоляції та з поверхні каналу в однотрубній тепловій мережі з температурним графіком роботи 95/70

- а) температура початку та кінця опалювального періоду,
- б) розрахункова температура зовнішнього повітря

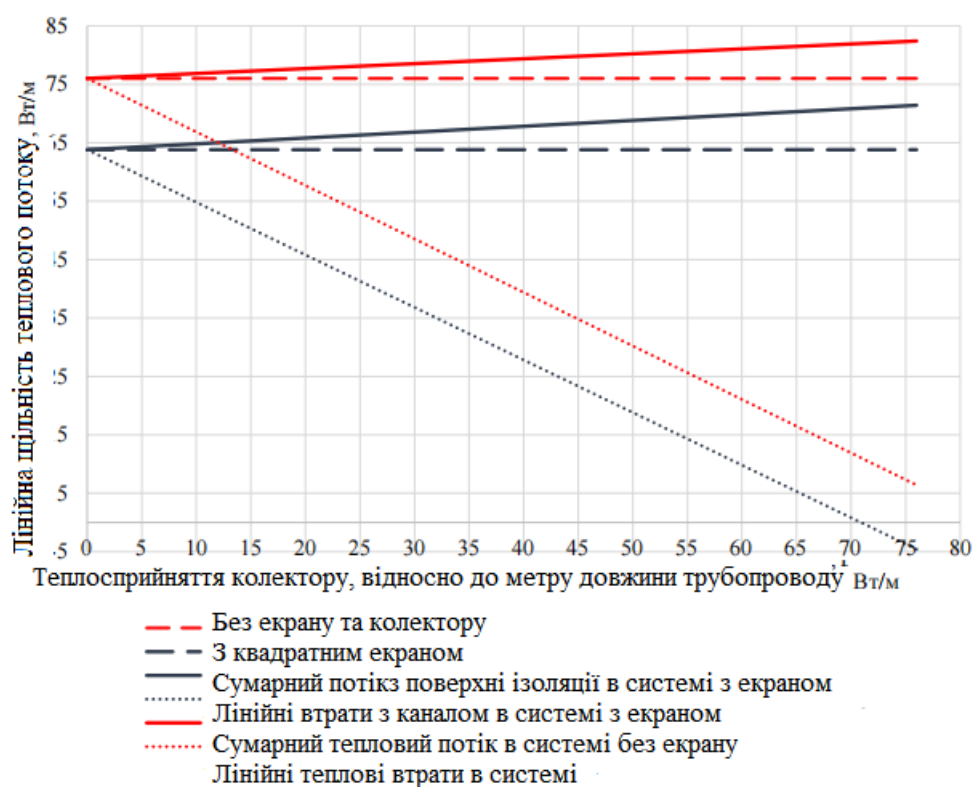
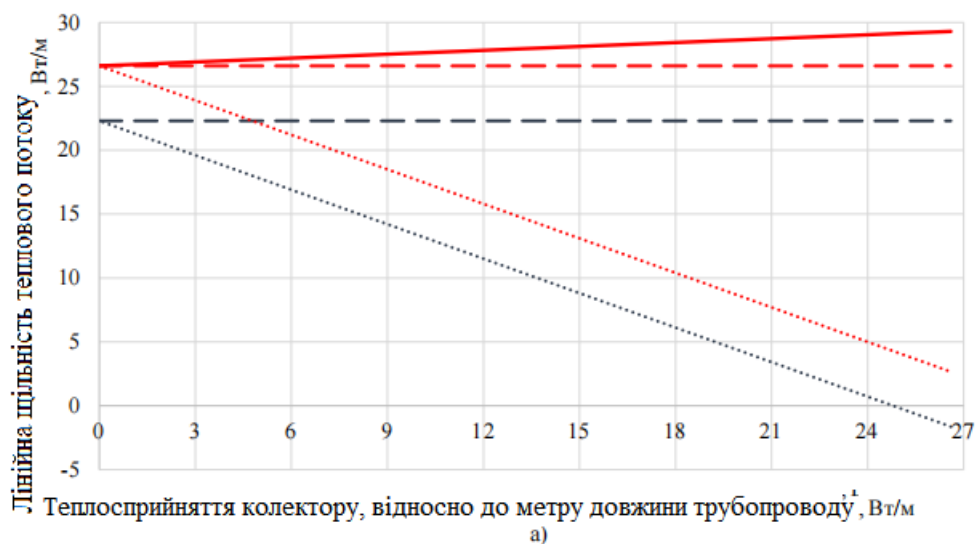
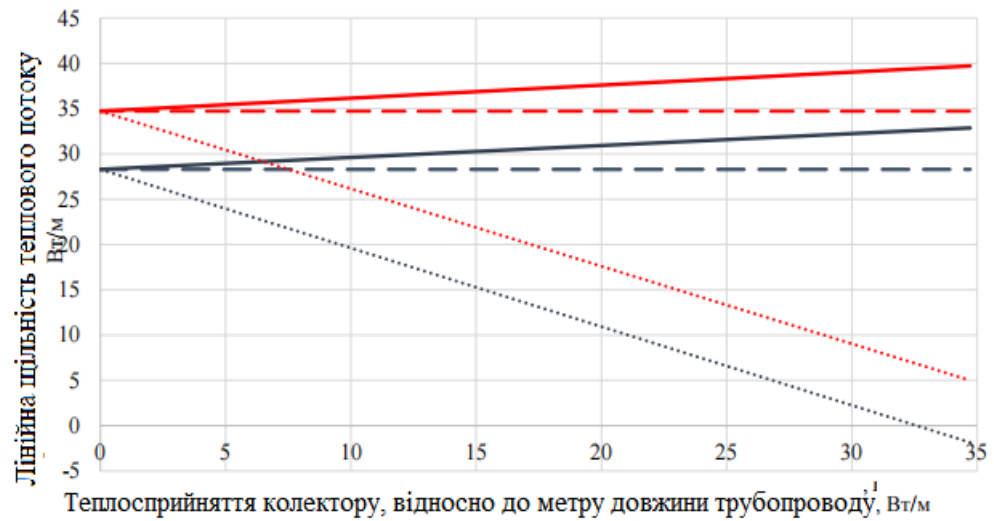
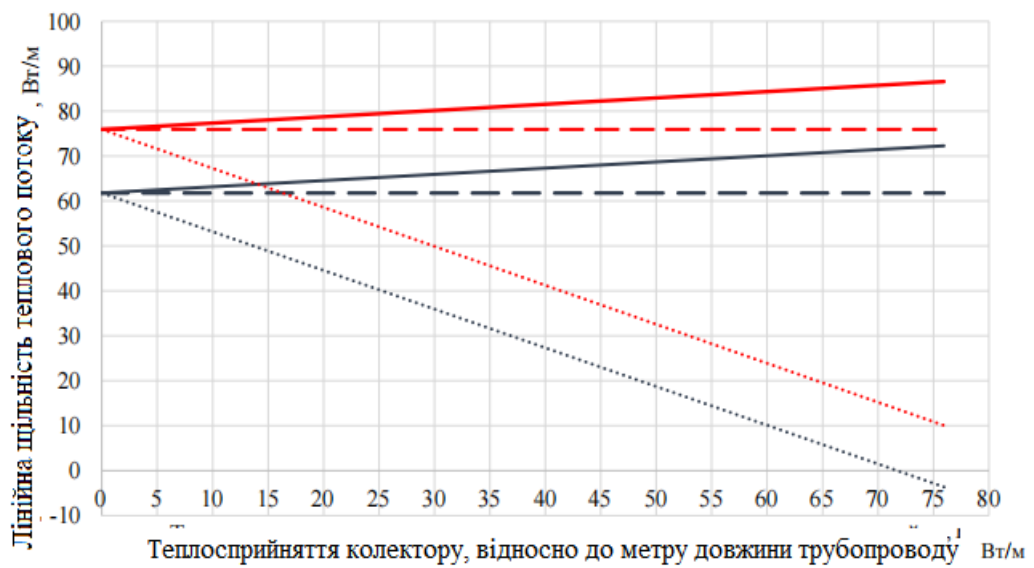


Рис.3.5 Вплив теплосприйняття колектора на тепловий потік з поверхні ізоляції та з поверхні каналу в однотрубній тепловій мережі з температурним графіком роботи 150/70

- а) температура початку та кінця опалювального періоду,
 б) розрахункова температура зовнішнього повітря



а)



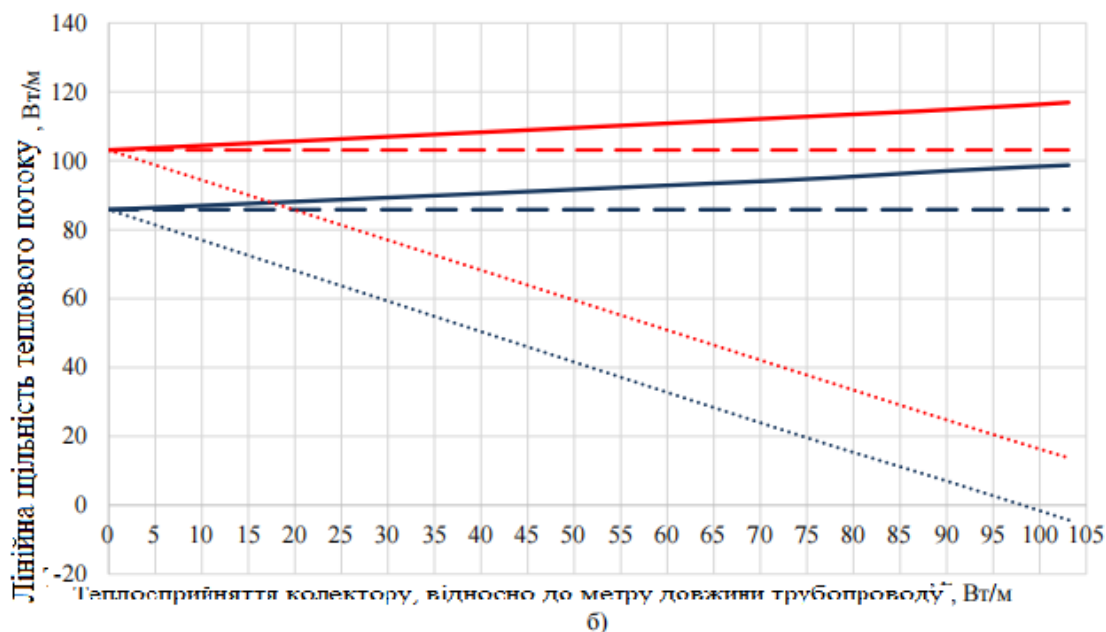
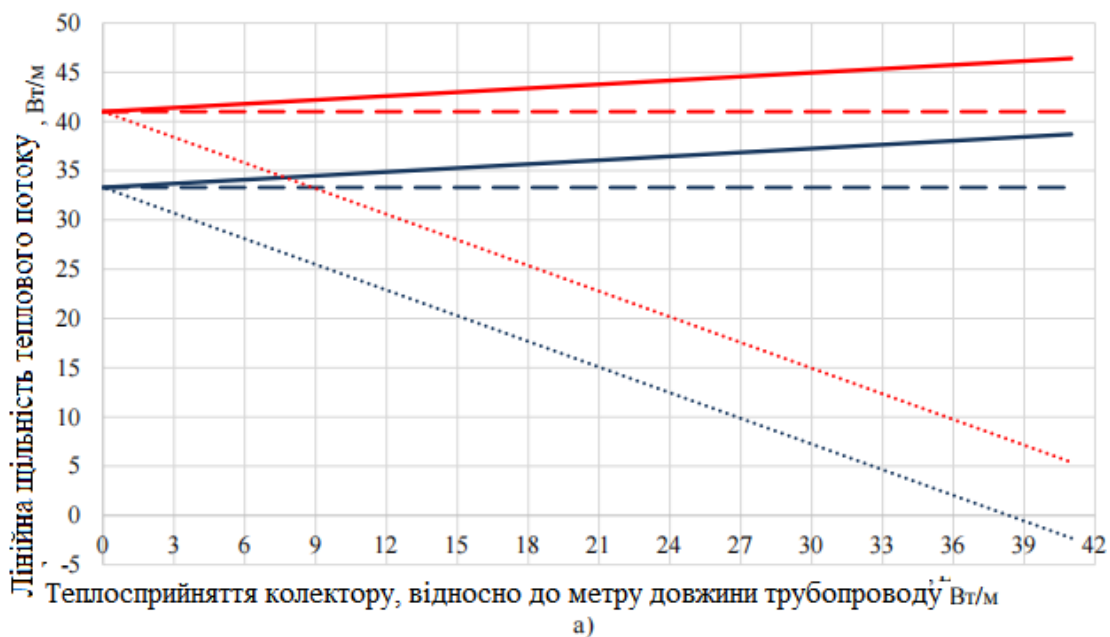
б)

- Без екрану та колектору
- - - З квадратним екраном
- Сумарний потік поверхні ізоляції в системі з екраном
- Лінійні втрати з каналом в системі з екраном
- Сумарний тепловий потік в системі без екрану
- Лінійні теплові втрати в системі

Рис.3.6 – Вплив теплосприйняття колектора на тепловий потік з поверхні ізоляції та з поверхні каналу у двотрубній тепловій мережі з температурним графіком роботи 95/70

а) температура початку та кінця опалювального періоду,

б) розрахункова температура зовнішнього повітря



- — Лінійні теплові витрати в системі без екрану та колектору
- — Лінійні теплові витрати в системі з екраном
- Сумарний потік з поверхні ізоляції в системі з екраном
- ⋯ Лінійні теплові витрати з поверхні каналу в системі з екраном
- Сумарний потік з поверхні ізоляції в системі без екрану
- ⋯ Лінійні теплові витрати з поверхні каналу в системі без екрану

Рис.3.7 Вплив теплосприйняття колектора на тепловий потік з поверхні ізоляції та з поверхні каналу у двотрубній тепловій мережі з температурним графіком роботи 150/70

а) температура початку та кінця опалювального періоду,

б) розрахункова температура зовнішнього повітря

Розрахунок площі поверхні колектора провадиться за таким алгоритмом:

1. Визначення температур теплоносія в трубопроводі, що подає і зворотному.

Температура теплоносія мережі тепlopостачання в трубопроводі, що подає, визначається за формулою [24]:

$$t_{01} = t_{вр} + \Delta t'_0 \cdot \overline{Q}_o^{0,8} + (\delta t'_0 - 0,5 \cdot \theta') \cdot \overline{Q}_o,$$

де $t_{вр}$ - розрахункова температура повітря всередині приміщення, °С;

$\overline{Q}_o^{0,8}$ - Відносна витрата теплоти на опалення;

$\Delta t'_0$ - температурний напір опалювального приладу при розрахунковому режимі, °С;

- $\delta t'_0$ - температурний перепад між температурою мережевої води в трубопроводі, що подає і зворотному, °С;

- θ' - розрахунковий перепад температур у місцевій системі опалення, °С.

Відносна витрата теплоти на опалення визначається за такою формулою:

$$\overline{Q}_o = \frac{Q_o}{Q'_o} = \frac{t_{вр} - t_n}{t_{вр} - t_{нр}},$$

де $t_{нр}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування систем опалення, °С [27];

t_n - температура зовнішнього повітря, °С;

Температурний тиск опалювального приладу при розрахунковому режимі:

$$\Delta t'_o = \frac{\tau'_{03} + \tau'_{02}}{2} - t_{вр},$$

де τ'_{02} – температура мережної води у зворотному трубопроводі при розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_{вр}$, °С;

τ'_{03} – температура води в трубопроводі, що подає, після елеватора або змішувального насоса при розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_{вр}$, °С;

Температурний перепад між температурою мережевої води в подаючому та зворотному трубопроводі визначається за формулою:

$$\delta\tau'_o = \tau'_{01} - \tau'_{02}$$

де τ'_{01} – температура мережної води в трубопроводі, що подає, при розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_{вр}$, °С;

Розрахунковий перепад температур у місцевій системі опалення:

$$\theta' = \tau'_{03} - \tau'_{02},$$

Температура мережної води у зворотному трубопроводі:

$$\tau_{02} = t_{вр} + \Delta t'_o \cdot \bar{Q}_o^{0,8} - 0,5 \cdot \theta' \cdot \bar{Q}_o = \tau_{01} - \delta\tau'_o \cdot \bar{Q}_o$$

2. Визначення температури повітря всередині непрохідного каналу:

$$t_{кан} = \frac{\frac{\tau_{01}}{R_{из1}^L + R_{н1}^L} + \frac{\tau_{02}}{R_{из2}^L + R_{н2}^L} + \frac{t_{гр}}{R_{кан}^{пов} + R_{гр}^к}}{\frac{1}{R_{из1}^L + R_{н1}^L} + \frac{1}{R_{из2}^L + R_{н2}^L} + \frac{1}{R_{кан}^{пов} + R_{гр}^к}},$$

де , $R_{из1}^L, R_{из2}^L$ –термічні опори ізоляції подаючого та зворотного трубопроводів, $m \cdot ^\circ C / Вт$;

$R_{н1}^L, R_{н2}^L$ - термічні опори тепловіддачі від поверхні ізоляції трубопроводу, що подає та зворотного, $m \cdot ^\circ C / Вт$;

$$R_{гр}^k$$

$R_{кан}^{нов}$ – Термічний опір ґрунту $m \cdot ^\circ C / Вт$;

термічний опір тепловіддачі від повітря до поверхні каналу, $m \cdot ^\circ C / Вт$;

$t_{гр}$ – середньомісячна температура ґрунту на глибині залягання непрохідного каналу, $^\circ C$.

Згідно з [30] термічним опором стінок каналу нехтуємо і відносимо їх до термічного опору ґрунту.

Товщина ізоляції подаючого та зворотного трубопроводів прийнята однаковою. Тоді, термічний опір ізоляції подавального та зворотного трубопроводів:

$$R_{из1}^L = R_{из2}^L = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_{из}} \cdot \ln \frac{D}{d},$$

де d - Зовнішній діаметр подає і зворотного трубопроводів, m [25, 26];

λ – теплопровідність ізоляції у конструкції, $Вт/(m \cdot ^\circ C)$ [29];

D – діаметр ізоляції по поліетиленовій оболонці [25, 26];

δ - Товщина ізоляції подаючого та зворотного трубопроводів, m [26, 25];

Термічний опір тепловіддачі від поверхні ізоляції трубопроводу, що подає та зворотного:

$$R_{н1}^L = R_{н2}^L = \frac{1}{2\pi \cdot \alpha_k \cdot D},$$

Термічний опір тепловіддачі від повітря до поверхні каналу, $\text{m}^2\text{K}/\text{Вт}$, визначається таким чином:

$$R_{\text{кан}}^{\text{пов}} = \frac{1}{\pi \cdot \alpha_{\text{к}} \cdot \frac{2 \cdot b \cdot h}{b+h}}$$

3. Визначення питомих лінійних втрат теплової енергії від трубопроводів теплової мережі, $\text{Вт}/\text{м}$:

$$q_1 = \frac{t_{\text{вк}} - t_{\text{гр}}}{K \cdot (R_{\text{кан}}^{\text{пов}} + R_{\text{гр}}^{\text{к}})}$$

де K - коефіцієнт додаткових втрат [30].

4. Визначення площі поверхні колектора.

При спільній роботі теплової мережі та пристрої з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси згідно з результатами математичного моделювання, наведеними у пункті 3.1, 90% теплових втрат поглинається колектором. Гріючим теплоносієм при розрахунку площі поверхні колектора є повітря, розташоване між внутрішньою поверхнею каналу і екраном, що відбиває T_{f1} . Температура теплоносія, що гріє прийнята рівною середньою за опалювальний період температурою ґрунту. Якщо розбіжність становить понад 5%, то задаються новими температурами стінок $T_{\text{w1}} = T_{\text{w1}_{\text{пол}}}$ і $T_{\text{w2}} = T_{\text{w2}_{\text{пол}}}$ і повторюють розрахунок. Коли розбіжність відповідає вищеписаним умовам, остаточно приймають одержаний коефіцієнт теплопередачі.

Площа поверхні колектора, віднесена до одного метра довжини трубопроводів теплової мережі

$$F = \frac{0,9 \cdot q_1 \cdot \pi \cdot D}{k \cdot (T_{\text{r1}} - T_{\text{r2}})}$$

Число трубок колектора, віднесене до 1 метра трубопроводів теплової мережі, визначається за формулою

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{нар}}}.$$

Довжина колектора

$$L = \frac{Q_0}{q_1},$$

Де Q_0 - повне навантаження на випарник, Вт.

3.3 Висновки по розділу 3.

1. Дослідження процесів теплообміну в однотрубній та двотрубній тепловій мережі проведено при геометричних характеристиках однотрубної і двотрубної теплових мереж без додаткових елементів, теплової мережі з тепловідбивним екраном та колектором з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси.

2. Залежності показують, що відбір теплової енергії колектором із каналу теплотраси у розмірі початкових теплових втрат для всіх варіантів теплової мережі та умов її роботи викликає збільшення лінійної щільності теплового потоку з поверхні трубопроводів в середньому на 10-14%. Це свідчить про неприпустимість організації відбору теплової енергії від мережі теплопостачання подібним чином.

3. Чисельне моделювання зроблено для температурних графіків роботи системи теплопостачання 150/70 та 95/70. Розрахунки велися для температур теплоносія, що відповідають розрахунковій температурі повітря. При цьому температура навколишнього ґрунту у всіх варіантах

чисельного аналізу приймалася рівною середній температурі ґрунту за опалювальний період для умов м. Кривий Ріг.

4. Для обмеження відбору теплоти у пристрої передбачений екран, що відображає тепло, здатний скоротити радіаційну складову теплового потоку з поверхні трубопроводів.

5. Аналіз роботи тепловідбивного екрану в умовах теплової мережі без колектора показав , що при встановленні тепловідбивного екрану у внутрішньої поверхні каналу теплотраси у всіх варіантах розрахунку коефіцієнт його ефективності варіюється в діапазоні від 0,14 до 0,19.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА РАХУНОК УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОВИХ ВТОРИННИХ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ

4.1 Впровадження в системах теплопостачання промислових підприємств тепловідбивного екрану.

Висвітлені в роботі дослідження показали, що тепловідбивний екран, працюючи в різних обставинах, має різну ефективність. Ця обставина вимагає виявлення факторів, що надають максимальний вплив на ефективність роботи екрана. Коло аналізованих факторів зводиться до температури теплоносія, місця розташування екрану, його ступеня чорноти тепловідбиваючого екрану та термічного опору трубопроводів теплової мережі.

Результати попередніх досліджень показали, що температура теплоносія, що змінюється в діапазоні існуючих температурних графіків роботи систем теплопостачання не надає істотного впливу на роботу екрану.

На вплив місця розташування тепловідбиваючого екрану в роботі розглянуто два варіанти його розміщення: навколо трубопроводу в безпосередній близькості від нього та внутрішньої поверхні стінок каналу теплотраси. У цих випадках, тепловідбивний екран, що знаходиться на відстані 8 мм від стінки, поряд з променистим тепловим потоком знижуватиме і його конвективну складову.

Очевидно, що екран, розташований навколо трубопроводу, має більшу ефективність. Рисунки 4.1 та 4.2 дають можливість оцінити вплив ступеня чорноти екрану та коефіцієнта теплопровідності ізоляції

трубопроводу на ефективність роботи тепловідбиваючого екрану і зробити висновок суттєвої значущості останнього.

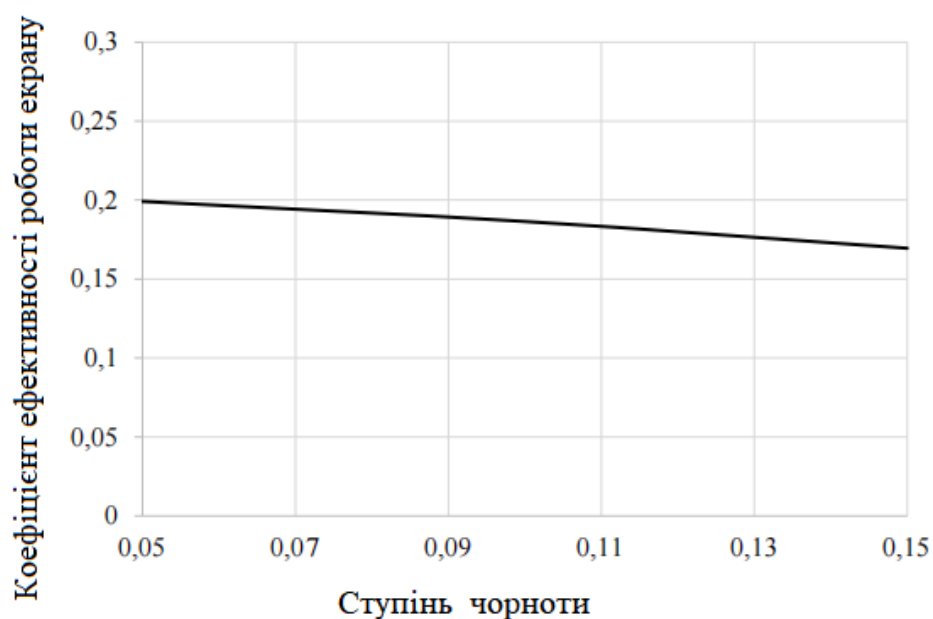


Рис.4.1 Залежність ефективності роботи тепловідбиваючого екрану від його ступеня чорноти.

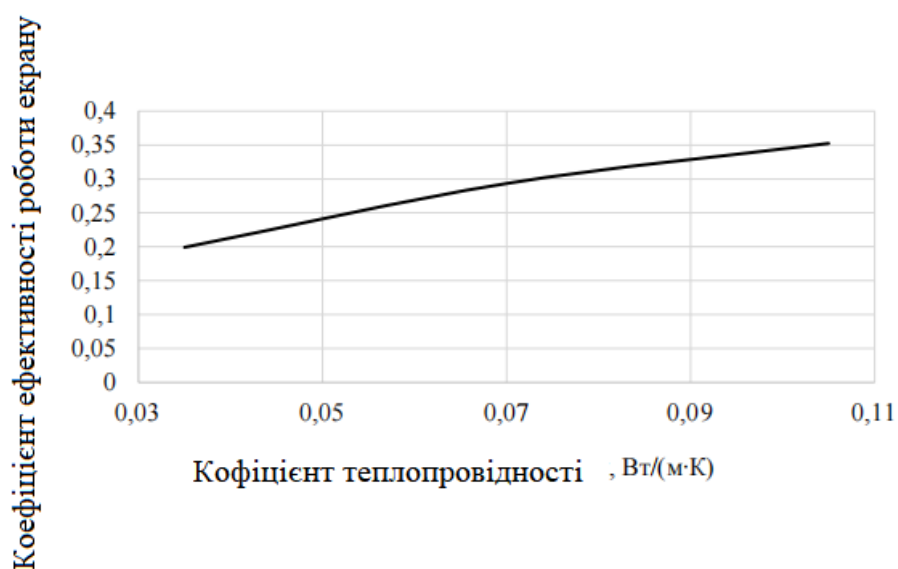


Рис.4.2 Залежність ефективності роботи тепловідбивного екрану від коефіцієнта теплопровідності ізоляції трубопроводів.

Робота традиційних систем тепlopостачання передбачає підтримку температури конденсації робочого тіла у тепловому насосі на рівні 65 °С. У низькотемпературних системах, таких як «тепла підлога» та системи сніготанення, температура теплоносія протягом опалювального періоду змінна. При максимальній температурі теплоносія в таких системах може досягати 40 °С. Ефективність роботи теплового насоса залежить від висоти теплопідйому (різниця між температурами конденсації та кипіння робочого агента в циклі роботи парокомпресійного трансформатора тепла). Тому температуру в колекторі можна визначити, знаючи бажаний коефіцієнт трансформації та необхідну температуру конденсації робочого агента.

Необхідною умовою роботи колектора є різниця температур ґрунту та теплоносія в колекторі (при меншому значенні останнього), причому чим більша ця різниця, тим інтенсивніше відбувається теплообмін і, відповідно, потрібна менша площа теплообміну. Важливо відзначити також, що при прийнятті коефіцієнта трансформації необхідно враховувати, що його високі значення призводять до підвищення температури теплоносія в колекторі, що не допустимо. Тому ефективної роботи пристрої можна досягти тільки при невисокому потенціалі виробленої тепловим насосом енергії.

Таким чином, при низьких значеннях розрахункової температури теплоносія в колекторі його необхідна площа буде меншою, що вимагатиме менших капітальних витрат, але неминуче призведе до зростання експлуатаційних витрат. І навпаки, за вищих значень розрахункової температури висота теплопідйому теплового насоса буде меншою, що збільшить коефіцієнт трансформації та зменшить поточні витрати на експлуатацію пристроїв, але, з іншого боку, це призведе до зростання капітальних витрат за рахунок збільшення матеріаломісткості пристрою.

Резюмуючи сказане, можна відзначити, що вибір розрахункової температури є оптимізаційним питанням, що вимагає техніко-економічного аналізу.

Експлуатація пристрою з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси передбачається також при режимах, відмінних від розрахункових. Необхідність регулювання роботи пристрою пов'язана зі зміною величини теплових втрат, обумовлених зміною як температури теплоносія в мережі тепlopостачання, і температури навколишнього теплової мережу ґрунту. Внаслідок умови безпеки теплового режиму мережі регулювання роботи необхідно виробляти випарником якісним методом, тобто за рахунок зміни температури теплоносія в колекторі пристрою, вплив якого передбачає зміну параметрів роботи теплового насоса.

У перехідному режимі роботи теплового насоса, що спостерігається при зменшенні теплових втрат мережі тепlopостачання, температура теплоносія в колекторі збільшується за рахунок збільшення температури кипіння у випарнику. Вплив на температуру кипіння здійснюється шляхом зміни тиску кипіння. У цьому регулювання роботи теплового насоса здійснюється з допомогою автоматичних пристроїв зміною витрати робочого агента.

Факторами, що впливають на значення температури теплоносія в колекторі, є значення розрахункової температури зовнішнього повітря, температури теплоносія в трубопроводі мережі тепlopостачання, що подає і зворотному, температура навколишнього теплової мережу ґрунту і розрахункова температура теплоносія в колекторі.

4.2 Підвищення енергетичної ефективності роботи теплових мереж за рахунок утилізації теплових втрат.

Нині виникла гостра необхідність ремонту зношених магістральних трубопроводів тепломережі. У багатьох випадках теплоізоляція трубопроводів зруйнована або зовсім відсутня. Крім того, велика кількість трубопроводів потребує екстреної заміни через їхню ветхість.

Конструкція теплової мережі з розміщеним колектором і екраном, що відображає тепло, заснована на застосуванні каркасного пристрою П-подібної форми з елементами опори [45]. Каркасні пристрої з елементами опори виконані з пластикового матеріалу, фанероване рамами з тепловідбивними екранами, встановлене із зазором 10-50 мм від внутрішніх поверхонь каналу. Каркасний пристрій П-подібної форми з елементами кріплення до трубопроводів, виконаний з пластикового матеріалу, фанерований з рамами з тепловідбиваючими екранами, встановлений навколо трубопроводів теплової мережі із зазором 40-50 мм від поверхні трубопроводів теплової мережі всередині каркасного пристрою з елементами опори. Каркасні пристрої з елементами опори та каркасні пристрої П-подібної форми з елементами кріплення до трубопроводів мають полицьки для встановлення рам з тепловідбивним екраном. Схема каркасних пристроїв показана на рисунку 4. 3. Елементи кріплення до трубопроводів виконані у вигляді опорної планки та двох фіксуєючих планок.

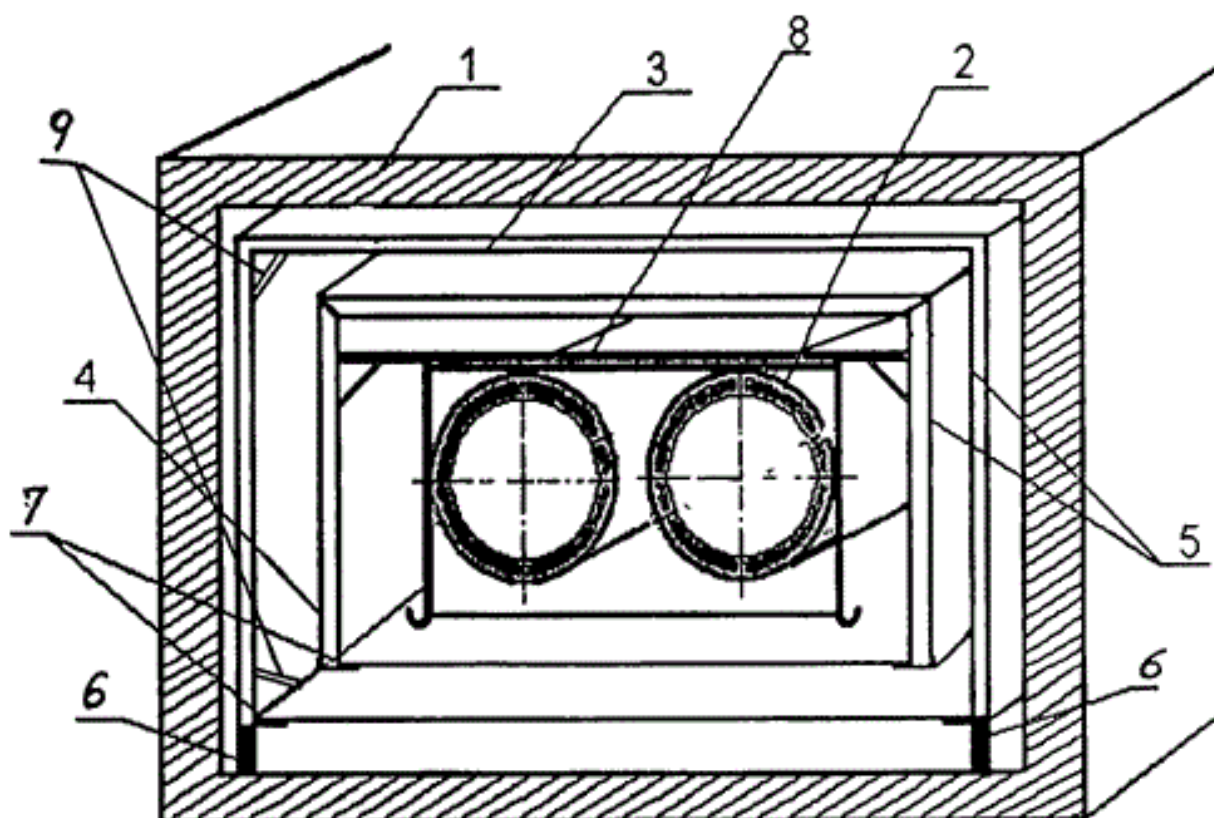


Рис. 4.3 Каркасный пристрій П-подібної форми:

1 – канал теплотраси; 2 – трубопроводи теплової мережі; 3 – каркасний пристрій П-подібної форми з елементами опори; 4 - каркасно пристрій П-подібної форми з елементами кріплення; 5 – рами з тепловідбивними екранами; 6 - опори; 7 – полицки; 8 – елементи кріплення до трубопроводів; 9 – розкоси.

Каркасні пристрої 3 і 4 мають П-подібну форму, в нижній частині забезпечені полицками 7 для установки рам з тепловідбивними екранами 5. Для надання жорсткості каркасні пристрої П-подібної форми можуть бути забезпечені розкосами 9. Каркасне пристрій П-подібної форми з елементами опори 3 встановлюють на донну плиту каналу на опори 6 виконані, наприклад, у вигляді ніжок, на відстані 10÷50 мм від внутрішніх поверхонь каналу. На його бічних і верхній площинах закріплюють рами з екранами, що відбивають 5. На полицки 7 встановлюють рами з тепловідбивними екранами 5. Каркасний пристрій П-подібної форми з елементами кріплення 4 забезпечено елементами кріплення 8 до трубопроводів, виконаним у вигляді опорної планки та двох фіксуючих

планок. Опорна планка розташована на відстані 40-50 мм від верхньої планки каркасного пристрою 4 для його установки на трубопроводі 2 і забезпечення необхідної величини зазору від поверхні трубопроводів 2. Відстань між фіксуючими планками вибирають рівним ширині трубопроводів для забезпечення фіксації каркасного пристрою П-подібної форми з елементами кріплення 4 на трубопроводах 2. Відстань від фіксуючих планок до бічних планок каркасного пристрою П-подібної форми з елементами кріплення 4 вибирають рівним 40-50 мм для забезпечення необхідної величини зазору від поверхності трубопроводів 2. Каркасне пристрій П-подібної форми з елементами кріплення 4 встановлюють на трубопроводі 2 за допомогою елементів кріплення 8. Закріплюють рами з тепловідбивними екранами 5 на бічних і верхній площинах каркасного пристрою 4 і встановлюють рами з тепловідбивними екранами 5 на полицки 7. Каркасні пристрої 3 і 4 дозволяють технологічно швидко встановлювати тепловідбивні екрани час укриття каналу верхньою плитою. Довжину каркасних пристроїв 3 і 4 вибирають кратній довжині плит, що вкривають, і для зручності монтажу не більше 1 метри. Тепловідбивні екрани зберігають цілісність при розтині каналу теплотраси 2, при утворенні локальних розривів тепловідбивні екрани можуть бути легко замінені або відновлені, наприклад способом накладення латок [46].

Прямим призначенням пристрою є утилізація теплових втрат у каналі теплотраси та повернення теплової енергії, що втрачається в систему тепlopостачання. При цьому отримана тепла енергія може бути використана різноспрямовано як для вирішення завдань традиційного тепlopостачання об'єктів різного призначення, так тепlopостачання інженерних систем міського та промислового господарства.

Для промислових підприємств в умовах, коли джерело теплової енергії, комунікації та споживач перебувають у віданні одного власника, створюються найбільш сприятливі умови для організації злагодженої

роботи системи тепlopостачання та застосування сучасних енергозберігаючих технологій.

Аналіз параметрів роботи пристрою дозволяє розширити спектр його практичного застосування для вирішення ряду інженерних та господарських задач. До інших прикладних варіантів практичного застосування пристрою відносяться:

- Безконтактне підключення споживача теплової енергії.
- Забезпечення роботи снігоплавильних установок.
- Забезпечення роботи теплих тротуарів.
- Підігрів води у басейні.

Безконтактне підключення абонента має на увазі покриття теплонавантаження, наприклад, новобудови або споруди опосередковано, а не традиційним шляхом, що передбачає організації відгалуження від розподільної або магістральної мережі та передачі теплової енергії від теплоносія теплової мережі до абонентських установок. Традиційний підхід тягне за собою гідравлічне розбалансування і, отже, поряд з капітальними витратами, потребує певних фінансових витрат на налагодження теплових мереж. Безконтактний спосіб, що передбачає застосування пристрою для утилізації теплових втрат у каналі теплотраси для покриття теплового навантаження на абонент, що підключається, не вимагає збільшення теплового навантаження на джерело, не вносить змін до гідравлічного режиму роботи мережі, забезпечує незалежність від гідравлічного режиму теплової мережі, передбачає можливість використання інших джерел енергії для роботи пристрою (сонячне випромінювання, тепла енергія каналізаційних стоків, тепла енергія вентиляційного повітря, що видаляється).

Пристрій з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси складається з парокомпресійного трансформатора тепла (теплового насоса) та сполученого з ним колектора, розміщеного у каналі теплотраси. Колектор є системою трубопроводів, розташовану вздовж каналу теплотраси, яким

циркулює теплоносієм. На рис. 4.4 показана принципова схема одного з варіантів виконання пристрою.

Низькопотенційним джерелом теплової енергії для роботи пристрою є теплові втрати мережі, що нормуються теплопостачання з підземною каналізацією прокладання трубопроводів. Втрачена з поверхні трубопроводів тепла енергія нагріває повітря всередині каналу теплотраси, який є по суті тепловим вторинним енергоресурсом у вигляді побічного продукту при здійсненні технологічного процесу транспортування теплової енергії та середовищем, яке дозволяє передати теплові втрати від трубопроводів теплової мережі до колектора пристрою. При цьому нагрітий у колекторі теплоносієм прямує за допомогою циркуляційного насоса у випарник парокompресійного теплового насоса. Виділена в конденсаторі теплового насоса тепла енергія може бути використана для потреб гарячого водопостачання або опалення поруч розташованих будівель та споруд протягом всього року.

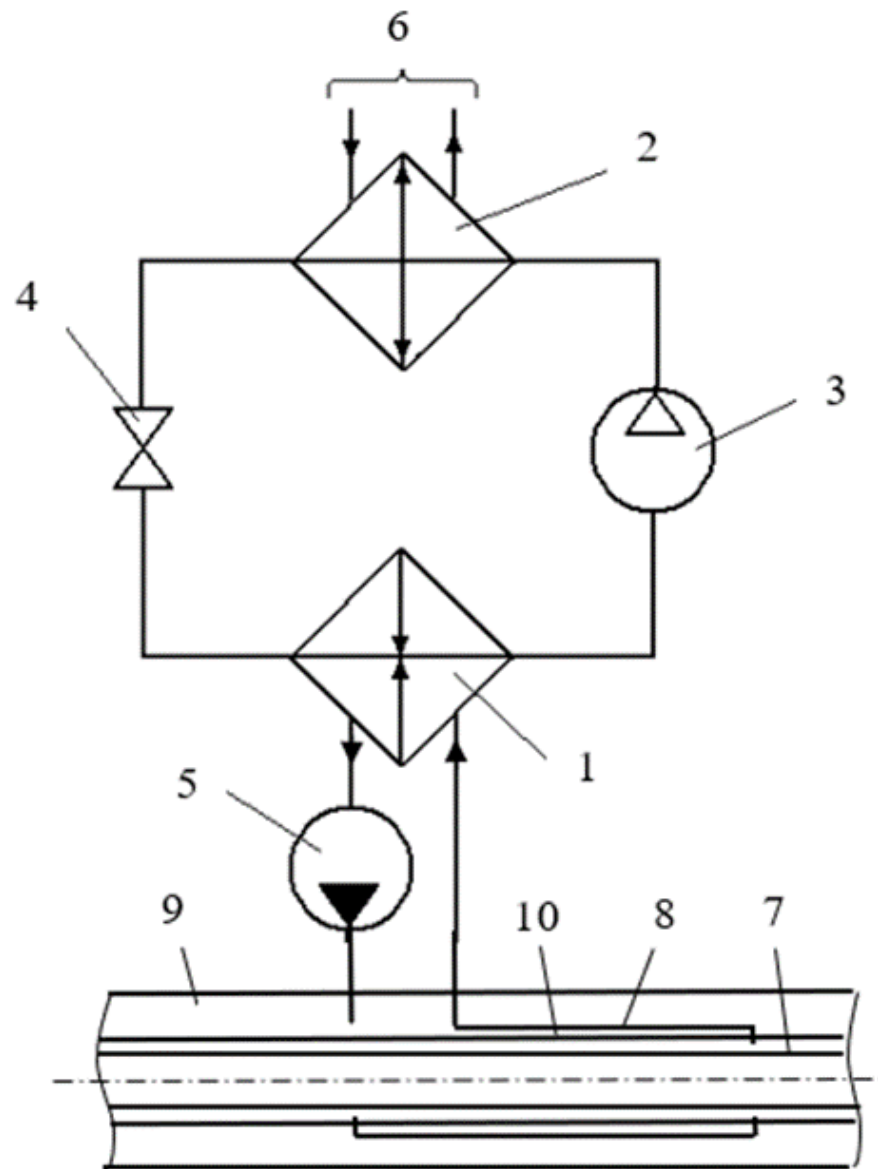


Рис. 4.4 Принципова схема пристрою по утилізації теплових втрат у каналі теплотраси:

1 – випарник; 2 – конденсатор; 3 – компресор; 4 – дросельний пристрій; 5 – циркуляційний насос; 6 – споживач тепловий енергії; 7 – ізольований трубопровід теплової мережі; 8 – колектор пристрою з утилізації теплових втрат; 9 – канал теплотраси; 10 – екран, що відбиває.

Основним завданням роботи пристрою є підвищення ефективності роботи теплових мереж за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів. Очевидним є той факт, що відбір теплової енергії з каналу теплотраси призведе до зниження температури повітря всередині каналу, що у свою чергу викликає збільшення теплових втрат. У зв'язку з цим

для організації коректної роботи зазначеного пристрою, що полягає в недопущенні збільшення теплових втрат, в каналі також встановлений екран, що відображає, розташований між трубопроводами теплової мережі та покликаний знизити радіаційну складову теплового потоку з поверхні трубопроводів.

Таким чином, запропоноване влаштування дозволяє утилізувати нормовані теплові втрати в мережах теплопостачання і тим самим підвищити енергетичну ефективність їхньої роботи.

4.3 Висновки по розділу 4.

1. Проведене дослідження дозволило вирішити низку завдань, які забезпечують підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок застосування пристрої з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси.

2. Пристрій з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси складається з парокompресійного трансформатора тепла (теплового насоса) та сполученого з ним колектора, розміщеного у каналі теплотраси. Колектор є системою трубопроводів, розташовану вздовж каналу теплотраси, яким циркулює теплоносій.

3. Одним з істотних переваг досліджуваного пристрою є можливість здійснення безконтактного приєднання абонента для покриття його теплового навантаження без порушення цілісності трубопроводів теплової мережі, що дозволить, зокрема, забезпечити гідравлічну стабільність режиму роботи мережі теплопостачання.

4. Низькопотенційним джерелом теплової енергії для роботи пристрою є теплові втрати мережі, що нормуються теплопостачання з підземною каналіною прокладання трубопроводів.

5. Основним завданням роботи пристрою є підвищення ефективності роботи теплових мереж за рахунок утилізації теплових

вторинних енергоресурсів. Відбір теплової енергії з каналу теплотраси призведе до зниження температури повітря всередині каналу, що у свою чергу викликає збільшення теплових втрат. У зв'язку з цим для організації коректної роботи зазначеного пристрою, що полягає в недопущенні збільшення теплових втрат, в каналі також встановлений екран, що відображає, розташований між трубопроводами теплової мережі та покликаний знизити радіаційну складову теплового потоку з поверхні трубопроводів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведення дослідження дослідження шляхів підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів отримано нове рішення актуальних наукових завдань. На основі цього можна зробити висновки:

1. Виділяємо три підходи до підвищення ефективності роботи теплових мереж: використання сучасних та перспективних теплоізоляційних матеріалів; застосування оригінальних технічних рішень, спрямованих на зміну конструкції елементів теплової мережі; застосування оригінальних технічних рішень, пов'язаних з використанням теплової енергії, що втрачається в навколишнє середовище.

2. У структурі теплових мереж різних діаметрів основну частку протяжності займають мережі діаметром до 200 мм. Мережі такого діаметра трубопроводів мають найбільші втрати, оскільки на малих діаметрах частка втрат вище, ніж великих. Крім того, вагомими причинами збільшення втрат, зазначених, є старіння теплових мереж, низькі темпи їхнього оновлення, недостатнє застосування сучасних енергоефективних технологій.

3. Геотермальна теплонаносна система лягла в основу ідеї пристрою з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси, для роботи якої низькопотенційним джерелом є теплові втрати мережі теплопостачання. Тобто теплові втрати є внутрішнім джерелом теплової енергії ґрунту.

4. Впровадження когенерації призводить до зниження витрати газу на виробництво тепла та електроенергії, а також зменшити собівартість їх виробництва, що є ключовим завданням енергозбереження.

5. У когенераційних установках (або міні-ТЕЦ) з традиційними котельнями споживання палива дещо зростає, однак загальні витрати на

виробництво однакового обсягу електричної та теплової енергії є нижчою на 15–30 % у порівнянні з окремим виробництвом на ТЕЦ та в котельні (залежно від потужності) та типу обладнання). Також децентралізовані когенераційні технології підвищують ефективність за рахунок зменшення витрат електроенергії під час передачі, усі споживачі знаходяться ближче до джерела виробництва.

6. Впровадження систем когенерації приносить вигоди у чотирьох взаємопов'язаних сферах: економічній, надійності, утилізації тепла та екології.

7. Очевидно, що використання енергії димових газів від теплоенергоцентралі або водогрійної котельні, паливо в яких є природній газ, для обігріву ORC контуру, в якому виробляється електрична енергія є найбільш перспективним для подальшого впровадження, оскільки для когенерації не знадобиться спалювати додаткову кількість палива.

8. Дослідження процесів теплообміну в однотрубній та двотрубній тепловій мережі проведено при геометричних характеристиках однотрубної і двотрубної теплових мереж без додаткових елементів, теплової мережі з тепловідбивним екраном та колектором з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси.

9. Залежності показують, що відбір теплової енергії колектором із каналу теплотраси у розмірі початкових теплових втрат для всіх варіантів теплової мережі та умов її роботи викликає збільшення лінійної щільності теплового потоку з поверхні трубопроводів в середньому на 10-14%.

10. Чисельне моделювання зроблено для температурних графіків роботи системи тепlopостачання 150/70 та 95/70. Розрахунки велися для температур теплоносія, що відповідають розрахунковій температурі повітря. При цьому температура навколишнього ґрунту у всіх варіантах

чисельного аналізу приймалася рівною середній температурі ґрунту за опалювальний період для умов м. Кривий Ріг.

11. Для обмеження відбору теплоти у пристрої передбачений екран, що відображає тепло, здатний скоротити радіаційну складову теплового потоку з поверхні трубопроводів. Встановлення тепловідбивного екрану у внутрішньої поверхні каналу теплотраси у всіх варіантах розрахунку коефіцієнт його ефективності варіюється в діапазоні від 0,14 до 0,19.

12. Проведене дослідження дозволило вирішити низку завдань, які забезпечують підвищення ефективності систем теплопостачання промислових підприємств за рахунок застосування пристрої з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси.

13. Пристрій з утилізації теплових втрат у каналі теплотраси складається з парокompресійного трансформатора тепла (теплового насоса) та сполученого з ним колектора, розміщеного у каналі теплотраси.

14. Одним з істотних переваг досліджуваного пристрою є можливість здійснення безконтактного приєднання абонента для покриття його теплового навантаження без порушення цілісності трубопроводів теплової мережі, що дозволить, зокрема, забезпечити гідравлічну стабільність режиму роботи мережі теплопостачання.

15. Низькопотенційним джерелом теплової енергії для роботи пристрою є теплові втрати мережі, що нормуються теплопостачання з підземною каналною прокладання трубопроводів.

16. Основним завданням роботи пристрою є підвищення ефективності роботи теплових мереж за рахунок утилізації теплових вторинних енергоресурсів. Відбір теплової енергії з каналу теплотраси призведе до зниження температури повітря всередині каналу, що у свою чергу викликає збільшення теплових втрат. У зв'язку з цим для організації коректної роботи зазначеного пристрою, що полягає в недопущенні збільшення теплових втрат, в каналі також встановлений

екран, що відображає, розташований між трубопроводами теплової мережі та покликаний знизити радіаційну складову теплового потоку з поверхні трубопроводів.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Постанова, Методика від 20.09.2022 № 1188 Про затвердження Методики визначення витрат та втрат паливно-енергетичних ресурсів для врахування в тарифах на теплову енергію, її виробництво, транспортування та постачання <https://ips.ligazakon.net/document/gk52242>
2. ЗАКОН УКРАЇНИ Про енергетичну ефективність (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2022, № 2, ст.8), Документ 1818-ІХ, чинний, поточна редакція — Редакція від 27.07.2023, підстава - 3220-ІХ. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>
3. Звіт про проведення стратегічної оцінки модернізації муніципальних тепломереж і ТЕЦ в Україні /[Електронний ресурс] URL: http://escoecosys.narod.ru/2011_6/art133.pdf
4. Закон України № 2633-IV „Про тепlopостачання”, 2005
5. ЗАКОН УКРАЇНИ Про водовідведення та очищення стічних вод. Документ 2887-ІХ, поточна редакція — Прийняття від 12.01.2023. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2887-20#Text>
6. Микитенко В.В. Енергоефективність промислового виробництва. Монографія. – Київ: Об’єднаний інститут економіки НАН України, 2004. – 282 с
7. Кращі практики щодо енергозаощадження у житловокомунальному господарстві України. - К.: Фонд Східна Європа, 2011.-185с.

8. І.Р. Ващишак, В.С. Цих Визначення втрат теплової енергії підземними тепловими мережами з урахуванням вологості ґрунту Методи та прилади контролю якості № 1 (38) 2017 м. Івано-Франківськ
9. Карп І., Нікітін Є., П'яних К., Сігал О. та ін. Стан та шляхи розвитку систем централізованого тепlopостачання в Україні: У 2 кн. – Кн. 1 – Київ: Наукова думка, 2021 – С. 11.
10. Використання підземної теплоти. Основні положення, дозволи та питання захисту навколишнього середовища / Правила VDI 4640 Blatt 1, 1998. : <https://www.vdi.de>
11. Мікульонок І. О. Проектування теплової ізоляції обладнання і трубопроводів : підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / І. О. Мікульонок. – 2-ге вид., випр.. і допов. – К. : НТУУ «КПІ», 2013. – 188 с.: іл. – Бібліогр.: с. 185. ISBN 978-966-622-592-7
12. Мікульонок І. О. Проектування теплової ізоляції обладнання хімічних виробництв: навч. посіб. / І. О. Мікульонок. – К.: Наук. думка, 1999. – 152 с.
13. Теорія теплопровідності: підручник: підручник. для студ. спец. 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / А. В. Гільчук, А. А. Халатов, Т. В. Доник; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 131 с
14. Співак, О. Ю. Тепломасообмін. Частина I : навчальний посібник / О. Ю. Співак, Н. В. Резидент. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 113 с. ISBN 978-966-641-841-1
15. Лабай В. Й. Тепломасообмін / Лабай В. Й. – Львів : Тріада Плюс, 2004. –258 с
16. Погорелов А. І. Тепломасообмін / Погорелов А. І. – Львів : Новий Світ, 2006. – 144 с.
17. ДБН Д.2.2-26-99.Сбірник 26 Теплоізоляційні роботи

18. Єнін П.М., Швачко Н.А. Є Теплопостачання (частина I “Теплові мережі та споруди”). Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2007, – 244 с. ISBN 978-966-351-177-1
19. Маляренко В.А., Лисак Л.В. Енергетика, довкілля, енергозбереження: Монографія / Під ред. проф. В.А. Маляренка. – Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.
20. ДБН В.2.5-22-2002 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі гарячого водопостачання та водяного опалення з використанням труб зі структурованого поліетилену з тепловою ізоляцією зі спіненого поліетилену і захисною гофрованою поліетиленовою оболонкою. ДП „ЦентрСЕПРОтепломережа”. – Київ, 2002.
21. Білоцерківський О.Б., Другова О.С. Проблеми енергозбереження та шляхи їх вирішення в малій енергетиці України // Матеріали V Міжвузівської науково-практичної конференції студентів, молодих вчених та спеціалістів (Кривий Ріг, 20 травня 2011 р.). – Вип.5. – Кривий Ріг: Діоніс, 2011. – С. 39-40.
22. ДСТУ Б А.2.4-1-95. Умовні позначення трубопроводів. -К.: Укранархбудінформ, 1996. –13с.
23. Ang, B.W. and N. Liu: Energy Decomposition Analysis: IEA model versus other methods // Energy Policy. – Volume 35, Issue 3. – March 2007. – pp.1426-1432.
24. Кравченко В. С., Саблій Л. А. Гаряче водопостачання будівель: Навч. Посібник. – Рівне: Рівненський державний технічний університет, 1999. -74с.
25. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби на Україні. –Київ: КТМ 204 України 244-94, 1996.-636 с

26. Ключі до успішного енергозбереження. Почни з себе! / А.Г. Шапар, М.А. Ємець, П.І. Копач та ін.: монографія. – Д.: Моноліт, 2008. – 196 с.
27. Правила користування тепловою енергією. /Міністерство енергетики України, Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. –Київ, 1999. -74с.
28. Правила технічної експлуатації систем тепlopостачання комунальної енергетики України / Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. –Київ: 1999. -200с.
29. Рекомендації з проектування теплових мереж з попередньо теплогідрозольованих труб. Видав. ВАТ “Енергоресурс”. – Львів, 2001 р.
30. Рекомендації по проектуванню дахових, вбудованих і прибудованих котельних установок та установлення побутових теплогенераторів, працюючих на природному газі (Посібник до СНиП II-35-76); 2-е вид., перероб. та доп. –К.: УкрНДІнжпроект, 1998. –34с.
31. Тимчасові правила обліку відпускання і споживання теплової енергії. –К.: 1996. – 63с
32. Венчек Б. Інфрачервона тепловізія. Основи та застосування / Б. Венчек, Г. Де Мей. – Ф.П. ПАК. Кшиштоф Пшибіла, 2011. – 372 с.26
33. Олійниченко І. Р. Економія при опаленні приміщення за рахунок використання матеріалів, що відбивають теплове випромінювання. Вісник КНУТД. – 2013. – № 6. – С. 146–149.
34. Камендерс А., Вілкане Л., Індзере З., Блумберга Д. Зміна попиту на тепло та балансу енергетичних ресурсів у Латвії. Energy Procedia 2017;113:411–416.
35. . Гусак Т.О., Підвищення енергоефективності теплової ізоляції водогрійних твердопаливних котлів. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей X міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів,

(Тернопіль, 24–25 листоп. 2021.) // М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2021. – С. 24.

36. Маліков В. М. Підвищення ефективності енергозбереження в житлово-комунальному господарстві / В. М. Маліков, А. А. Худенко // Будівництво України. - 2003. - №3.

37. Горбачовський О. П. Проблеми енергозбереження в житлово-цивільному будівництві // Будівництво України. - 1998. - №2. - С. 12-14

38. Звіт про науково-дослідну роботу «Проведення аналітичних досліджень та розробка принципів будівельно-технічних рішень щодо проведення комплексної термомодернізації будинків загальноосвітніх шкіл бюджетного утримання (на прикладі 6 проектів) з обґрунтуванням доцільності для повторного застосування». ДП «НДІБВ», 2012.

39. Боженко М.Ф., Сало В.П. Енергозбереження в теплопостачанні : Навч. посіб. – Київ. : НТУУ «КП», 2008. – 268 с.

40. Проектування котелень промислових підприємств. Курсове проектування з елементами САПР: Навч. посібник/ О. М. Алабовський, М. Ф. Боженко, Ю. В. Хоренженко.- К.: Вища школа, 1992. - 207 с

41. Оптимізація систем теплопостачання із використанням економікоматематичного моделювання: монографія / за заг. ред. О. М. Гаврися – Х.: НТУ "ХП", 2015. – 209 с.

42. Білоцерківський О.Б. Використання економіко-математичного моделювання для оптимізації систем теплопостачання // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Соціально-економічний розвиток країн: досвід та перспективи», 30-31 травня 2014 р. Львів: у 3 ч. – Ч. 2. – Львів: ЛЕФ, 2014. – С. 82-85.

43. Білоцерківський О.Б. Аналіз економіко-математичних моделей оптимізаційних задач у теплоенергетиці та їх удосконалення // Кримський економічний вісник. – Крим: ТОВ «Видавничий дім «Гельветика». – 2014. - №3 (10) червень 2014. – С. 6-9.

44. Energy Efficiency Indicators Methodology Booklet. De la Rue du Can, Stephane, Jayant A. Sathaye, Lynn K. Price, and Michael A. McNeil / Berkeley: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. – 2010. – 70 p.
45. Фецишин Б.П. Економіка енергетики: навч. посіб. для студентів енергетичних спеціальностей ВНЗ. – Тернопіль: Астон, 2003. – 160 с.
46. Світовий Банк реконструкції і розвитку кредитує модернізацію тепломереж у Тернополі. Лариса Осадчук. URL: /[Електронний ресурс]. <http://www.day.kiev.ua/uk/news/250714-svitoviy-bank-rekonstrukciyi-i-rozvitkukredituie-modernizaciyu-teplomerezh-u-ternopoli>
47. Нагуляк М.Ю., Смірнов В.В. Аналіз тарифного регулювання суб'єктів ринку теплової енергії України // Актуальні проблеми економічного і соціального розвитку регіону. – 2011. – С. 91-94.
48. Фурса В.А., Зубенко Т.М. Шляхи підвищення розвитку та функціонування підприємств теплоенергетики // Вісник НТУ «ХП». – №20 (993). – Х.: НТУ «ХП», 2013. – С. 58-64.
49. Матвєєва Н.М., Єсіна В.О. Формування напрямів енергоефективності у теплопостачанні // Комунальне господарство міст. – № 111. – С. 23- 32.
50. Дешко В.І. Енерго- і ексергоефективність систем теплопостачання будівлі (дослідження, аналіз, нові показники) / В.І. Дешко, Н.А. Буюк, І.С. Долгополов, В.Т. Тучин // Енергетика. Екологія. Людина. Наукові праці НТУУ «КП», ІЕЕ. – Київ: НТУУ «КП», ІЕЕ. – 2009. – С. 194-203.
51. Артамонов Є.Б. Підхід до моделювання систем теплопостачання через аналіз причин виникнення втрат теплової енергії і теплоносія в системі / Є.Б. Артамонов // Мат. машини і системи. – 2007. – № 3-4. – С. 203- 210.
52. Озіян І.С. Шляхи вдосконалення опалення в локальних тепломережах / І.С. Озіян, О.А Логінов // Вестник СевГТУ. – Севастополь:

Изд-во СевНТУ, 2012. – Вып. 132: Механика, энергетика, экология. – С.104-106